

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students

об'єктно-орієнтовані технології

ЕОМ

КОНТРОЛЕР

ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

ACTUAL PROBLEMS OF AUTOMATION AND CONTROL

conference materials

АСУ

ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА

АСУ ТП

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ЕОМ

інформаційні системи

Issue № 11

Lutsk - 2023

ОРГАНІЗАТОРИ

Луцький національний технічний
університет, Луцьк (Україна)
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

Вінницький національний технічний
університет, Вінниця (Україна)
Кафедра автоматизації та
інтелектуальних інформаційних
технологій

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, Тернопіль
(Україна)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих
технологій

Київський національний університет
будівництва і архітектури, Київ (Україна)
Факультет інженерних систем та екології

Люблінська Політехніка, Люблін
(Польща)
Інститут електроніки та інформаційних
технологій

Сальвадорський університет, Сальвадор
(Бразилія)
Школа архітектури, інженерії та
інформаційних технологій
Центр досліджень з моделювання
проектів та процесів інженерії та
інформаційних технологій

Політехнічний інститут Браганса,
Браганса (Португалія)
Центр дослідження цифрових технологій
та інтелектуальної робототехніки
(CeDRI)
Кафедра механічних технологій

Таразський державний університет, Тараз
(Казахстан)
Кафедра хімії і хімічних технологій

ORGANIZERS

Lutsk National Technical University, Lutsk
(Ukraine)
Department of Automation and Computer -
Integrated Technologies

Vinnitsia National Technical University,
Vinnitsia (Ukraine)
Department of Automation and Intelligent
Information Technologies

Ivan Puluj Ternopil National Technical
University, Ternopil (Ukraine)
Department of computer-integrated
technologies

Kyiv National University of Construction
and Architecture, Kiev (Ukraine)
Faculty of Engineering Systems and
Ecology

Lublin University of Technology, Lublin
(Poland)
Institute of Electronics and Information
Technology

Salvador University, Salvador -
Bahia (Brasil)
School of Architecture, Engineering and IT
Modeling and Simulation of Engineering
Projects and Process Team

Bragança Polytechnic Institute (Portugal)
Research Centre in Digitalization and
Intelligent Robotics (CeDRI)
Mechanical Technology Department

Taraz State University, Taraz (Kazakhstan)
Department of Chemistry and Chemical
Technology

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ

І. ВАХОВИЧ – д.е.н., професор, ректор Луцького національного технічного університету (Україна)

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

О. БІСІКАЛО – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету (Україна)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

А. МИКИТИШИН – к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Україна)

Б. ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ – д.т.н., професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету (Україна)

О. ПРИЙМАК – д.т.н., професор, декан факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури (Україна)

В. ЛОТИШ – к.т.н., доцент, інженер з машинного навчання Wesub S.A., Варшава (Польща)

PAWEL KOMADA – доктор інженерії, заступник директора інституту електроніки та інформаційних технологій Люблінської Політехніки (Польща)

LEILA M.A. CAMPOS – інженер-хімік школи архітектури, інженерії та інформаційних технологій Сальвадорського університету (Бразилія)

MARIANA L. MURARI – професор центру досліджень з моделювання проектів та процесів інженерії та інформаційних технологій Сальвадорського університету (Бразилія)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – координатор професор кафедри механічних технологій Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

PAULO LEITAO – координатор професор Політехнічного інституту Браганса; Координатор Центру дослідження цифрових технологій та інтелектуальної робототехніки (CeDRI) Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

Б. МАСАЛИМОВА – к.х.н., завідувач кафедри хімії і хімічних технологій Таразського державного університету (Казахстан)

CHAIRMAN OF THE PROGRAM COMMITTEE

I. VAKHOVYCH – Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of Lutsk National Technical University (Ukraine)

DEPUTY CHAIRMAN

O. BISIKALO – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies at Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

PROGRAM COMMITTEE

A. MYKYTYSHYN – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Ivan Puluj National Technical University of Ternopil (Ukraine)

B. PALCHEVSKYI - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Lutsk National Technical University (Ukraine)

O. PRYMAK – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Ecology of Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

V. LOTYSH - PhD, Associate Professor, Machine Learning Engineer, Wesub S.A., Warsaw (Poland)

PAWEL KOMADA - Doctor of Engineering, Deputy Director of the Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology (Poland)

LEILA M.A. CAMPOS – Engineer Chemist of the School of Architecture, Engineering and IT of Salvador University (Brasil)

MARIANA L. MURARI – Professor of Modeling and Simulation of Engineering Projects and Process Team of Salvador University (Brasil)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – Coordinator Professor of Mechanical Technology Department of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

PAULO LEITAO – Coordinator Professor at Polytechnic Institute of Bragança; Coordinator of the Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI) of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

B. MASALIMOVA – Ph.D., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Taraz State University (Kazakhstan)

**ГОЛОВА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО
КОМІТЕТУ**

Р. ГРУДЕЦЬКИЙ – проректор з науково-педагогічної роботи та цифрової трансформації Луцького національного технічного університету

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

Ю. ЛАПЧЕНКО – к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

І. КОНДІУС – к.е.н., доцент, декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій Луцького національного технічного університету

Л. ГУМЕНІУК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

П. ГУМЕНІУК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

О. РЕШЕТИЛО – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

**CHAIRMAN OF THE ORGANIZING
COMMITTEE**

R. GRUDETSKYI – Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and Digital Transformation of Lutsk National Technical University

DEPUTY CHAIRMAN

Y. LAPCHENKO - Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

ORGANIZING COMMITTEE

I. KONDIUS - Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Computer and Information Technology of Lutsk National Technical University

L. GUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

P. HUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

O. RESHETYLO - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

**СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА»**

Бережний О.Ю., Назарова О.С., Кулинич Е.М. Дослідження та розробка програмно-апаратного комплексу для вивчення процесів керування планером ...	8
Пальчевський Б. О., Решетило О. М., Лапченко Ю. С., Гладун В. А., Власюк М. І. Розробка структури системи діагностування та прогнозування стану технологічної машини пакування пасти в полімерні пакети та експертної системи	12
Пальчевський Б. О., Решетило О. М., Маркіна Л. М., Войтко В. М. Дослідження та модернізація автоматизованої системи контролю параметрів деталей підшипників	19
Перепечаєв О.О., Гуменюк Л.О. Автоматизація розрахунку парогенератора для енергоблоків	28
Скібчик Я.М., Гуменюк Л.О. Автоматизація аналізу роботи вітрових турбін	35
Федік Л. Ю., Сіваковська О. М. Особливості застосування комп'ютерних технологій під час автоматизації виробничих процесів	42

**СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ОСВІТИ, НАУКИ
ТА ВИРОБНИЦТВА»**

Білецький Б.О., Грудецький Р.Я. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення карамелі з начинкою	49
Грицюк В. І., Сазик В. О., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Аналіз технологічного процесу виробництва глазурованого сиру, як об'єкта керування .	55
Зубакіна А.С., Фронько К.А., Саварин П.В. Цифровізація як ключовий чинник покращення процесів у сфері освіти та науки	58
Крупницький В. Л., Гуменюк Л.О. Автоматизована система керування технологічним процесом сушіння картоплі при виробництві напівфабрикатів	61
Приступа С. О., Мороз С. А., Хомич Р. О. Автомобільна сигналізація на базі діалогового коду	65
Прищеп М.С. Федік Л.Ю. Аналіз технологічного процесу виробництва аміаку для обґрунтування завдань його автоматизації	69
Решетило О. М., Грудецький Р. Я., Сосна Д. П. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва соняшникової олії	74
Решетило О. М., Замуруєва О. В. Автоматизована система керування технологічним процесом високотемпературної обробки молока	84
Решетило О. М., Лапченко Ю. С., Шевчук О. А. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва суміші морозива	92
Решетило О.М., Овечко В.І. Аналіз технологічного процесу виробництва поліетиленових пакетів, як об'єкта керування під час автоматизації процесу їх виробництва	101
Решетило О. М., Сазик В. О., Сидорук С. Ю. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва чіпсів	104

Сацик В. О., Смолянкін О. О., Троянчук Б. В. Автоматизована система управління мікрокліматом у мінітеплиці для вирощування мікрозелені	120
Середюк А.С., Гуменюк Л.О. Автоматизована система управління технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів	124
Стьопкін В.В., Потапенко Ю. А., Шурай І. С. Модернізація систем керування електроприводами кар'єрних екскаваторів	128
Федік Л.Ю., Грицюк М.О. Аналіз виробничого процесу виробництва мінеральної вати, як об'єкта керування під час автоматизації	132
Черняк Ю. С., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О. Аналіз технологічного процесу виготовлення салату з морських водорослей, як об'єкта керування	138
Чумак В.С. Впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес	141
Шумбаєв С.Д., Панасюк О.О., Саварин П.В. Штучний інтелект в контексті персоналізованої освіти: теоретичні підходи, практичні реалізації та перспективи розвитку	146
СЕКЦІЯ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»	
Валецький Б.П. Моделювання та дослідження маніпулятора	150
Лавренчук С.В. , Артемук А.В. Оптимізація системи вуличного освітлення на основі IoT -пристроїв	156
Лапченко Ю.С., Гуржієнко Ю.С. Моделювання посилення сигналу комбінаційного розсіювання світла в одновимірному фотонному кристалі на основі пористого кремнію	160
Маркіна Л. М., Сацик В. О., Решетило О. М., Смолянкін О. О. Налаштування параметрів регулятора за допомогою середовища MATLAB	166
Нежурін В.І., Куваєв В.Ю., Єрмаков А.О. Оптимізація управління роботою рудовідновлювальних електропечей	171
Селепина Й. Р., Шиманський І. С. Дослідження каналів передачі даних LTE за допомогою комп'ютерного моделювання	175
СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»	
Бучок А.А., Климаш Н.І. Загрози розвитку професії економіста в епоху цифрової економіки	181
Грозан О.О., Климаш Н.І. Діджиталізація як напрямок інноваційного розвитку підприємства	182
Євсюк М.М., Баховський П.Ф., Бандура І.О., Волосовець О.В., Цьось Р.І. Окремі аспекти аналітичного обзору можливостей та перспектив бездротової мережі малого радіусу дії	184
Кондіус І. С., Кравець В. П., Кондіус К. Ю. Структуризація неструктурованої текстової інформації за допомогою онтологічного підходу	188
Малієнко С.Є., Селівьорстова Т.В. Використання інформаційного аналізу в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж	195
Оніщук М.А., Гуменюк Л.О. Надійність та аналітика в Traffic Arbitrage, основи та управління AffiliatE Matketing у мережі Інтернет	198

Павлович О.П., Гуменюк П.О. Аналіз автоматизованих систем управління бізнес процесами інтернет магазину	209

Сацик В.О., Корольчук О.О., Сацик О.В., Маркіна Л. М., Смолянкін О.О. Супутникова навігація: основні принципи роботи. проблеми та методи їх вирішення	215

Семенюк І.Ю. Аналіз готових рішень системи «Розумний будинок»	222

Ткачук С.Р., Климаш Н.І. Діджитал-трансформація вітчизняної економіки: виклики і перспективи	224

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИКА В ЕЛЕКТРОНІЦІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ»

Заблоцький В. Ю., Бондаренко О. О. Проектування системи контролю та управління доступом	228

Заблоцький В. Ю., Мороз О. А., Томчук І. В., Сверба В. О. Логічний аналізатор як інструмент для діагностування радіоелектронних мікропроцесорних пристроїв	232

Лишук В.В., Погинець А.Я., Барташук Р.І., Кмитко Н.О. Особливості застосування електронних ключів у перетворювальній техніці	236

Мороз С. А., Цизь Т. П., Карп'як А. В., Сахарчук П. В. Програматор USBASP для програмування мікроконтролерів AVR	242

Мороз С. А., Шевчик В. В., Цурков Є. Д., Добровольський Л. О. Генератор тактової частоти для електронних пристроїв та систем	245

Пристапа С. О., Марчак О. П., Мужик О. В. Використання технології WiMAX для надання послуг IPTV	248

Селепина Й. Р., Губій Ю. В. Мікробазові станції в стільникових мобільних радіомережах з обмеженим навантаженням	252

Шкода С.О. Система безперебійного живлення з гальванічною розв'язкою ...	258

Якимчук Н. М., Цизь Т. П., Оксентюк Б. В. Апаратне забезпечення методів температурного регулювання паяльної станції	263

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Денисюк В. Ю. Гарбарчук, Р. А. Аналіз оптичних спектральних приладів для задач контролю на базі вимірювання оптичних спектрів	269

СЕКЦІЯ «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»

Денисюк В. Ю., Яблонський В. В. Методика створення літографічних масок з допомогою скануючого зондового мікроскопа	276

Лапченко Ю.С., Карманський М.В. Дослідження зміни показника заломлення та хвилепровідних властивостей мікроканалів	285

Лапченко Ю.С., Тутейко Р.В. Формування мікрорельєфу та комбінованої топології мікроструктурованої поверхні	292

Симонюк В. П., Тимошук А. А. До технологічних можливостей селективного лазерного спікання	299

УДК 62-83:681.5

О.Ю. Бережний, О.С. Назарова, Е.М. Кулинич

Національний університет «Запорізька політехніка»

E-mail: nazarova16@gmail.com , 8357238@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ПЛАНЕРОМ

В даній роботі розроблено апаратно-програмний комплекс для емуляції процесів взаємодії органів керування планером на базі SOC платформи Arduino з використанням мови програмування C++ та середовища розробки Platformio. Створення розробки мало на меті підвищення наочності навчального процесу. В результаті проведеного дослідження було визначено особливості управління планером та структуру механізмів, що забезпечують процес керування. Було створено програмно-апаратний комплекс, який дозволяє досліджувати взаємодію органів керування та виконавчих механізмів польоту. Розроблено програмне забезпечення, яке спрямовано на легке налаштування та швидкий запуск навчального стенду.

Ключові слова: літальний апарат, планер, керування, лабораторний стенд, моделювання, емуляція, Arduino, C++

O. Berezhnoi. O. Nazarova, E. Kulynych. Research and development of a hardware and software complex for studying the airplane control processes. Development of a hardware and software complex for emulating the interaction processes of airplane controls based on the Arduino SOC platform with the C++ programming language and the Platformio development environment. The purpose of the development was to increase the visibility of the educational process. As a result of the conducted research, the features of glider control and the structure of the mechanisms that ensure the control process were determined. A hardware and software complex was created, which allows to study the interaction of control bodies and executive mechanisms of flight. Software has been developed that aims at easy setup and quick launch of the training stand.

Keywords: aircraft, glider, control, laboratory stand, simulation, emulation, Arduino, C++

Постановка проблеми. На сьогодні авіація є однією з найбільш широкоохоплюючих галузей, оскільки пов'язує бізнес та людей у всіх куточках світу. Темпи її використання непинно зростають, що збільшує потребу у відповідних фахівцях. Враховуючі, зростаючу потребу підготовки авіаційних спеціалістів існує необхідність в покращенні і підвищенні якості процесу навчання студентів. Одним з шляхів реалізації цієї задачі є розширення функціоналу навчальних лабораторій. Беручи до уваги складність процесу керування літальним апаратом дуже важливо забезпечити для студентів гарне розуміння його основних особливостей і нюансів. Наочна демонстрація взаємозв'язку органів керування та виконавчих механізмів здатна поліпшити процес пояснення матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми. Система управління – сукупність електричного і механічного обладнання, яке забезпечує можливість виконувати польоти літака з високою надійністю та точністю. Система управління уявляє комбінацію певної кількості пристроїв, а саме: датчиків, органів управління кабіною, приводів та електронно-розрахункових машин тощо [1]. Система управління польотом поділяється на дві підсистеми: первинну та вторинну відповідно. Кермо, елерони, стабілізатори є складовими первинної системи управління. Вони забезпечують управління літальним апаратом під час польоту [2].

Розробка систем управління літальним апаратом відбувається дуже ретельно і виважено оскільки її надійність впливає безпосередньо на безвідмовну реакцію повітряного судна на дії пілотів. Керування літальним апаратом має певні специфічні особливості [3].

Зміна положення хоча б одного з основних елементів управління польоту (керма, стабілізатора або елеронів) впливає на розподіл тиску навколо крил та на напрям потоку набігаючого повітря. Це надає пілоту здатність управління у трьох осях оскільки впливає на повітряний опір і підйомну силу повітряного судна [4].

Правильність та ретельний прорахунок конструкції повітряного судна забезпечує легкість керування літаком під час маневрів і загальну стабільність у повітрі. Звісно що через певні конструкційні особливості є певні обмеження на діапазони відхилення для органів керування. Прикладом може виступати обмеження руху керма управління що б запобігти перенапруження літака під час маневру [5].

Метою роботи є дослідження процесу керування планером та практична реалізація його імітації для використання в навчальних закладах та науково-дослідній роботі.

Розробка методу взаємодії користувачів з системою. При проектуванні програмно-апаратного комплексу (ПАК) враховано особливості застосування у навчальному процесі, а саме: низький час на розгортання системи у робочий стан, ймовірність малої обізнаності кінцевого користувача (студента) в програмуванні, стійкість до раптового вимкнення електроживлення та некоректного з'єднання компонентів. Зміна та модернізація налаштувань стенду була заборонена для користувачів комплексу і можлива лише з залученням адміністратора комплексу (рис. 1).

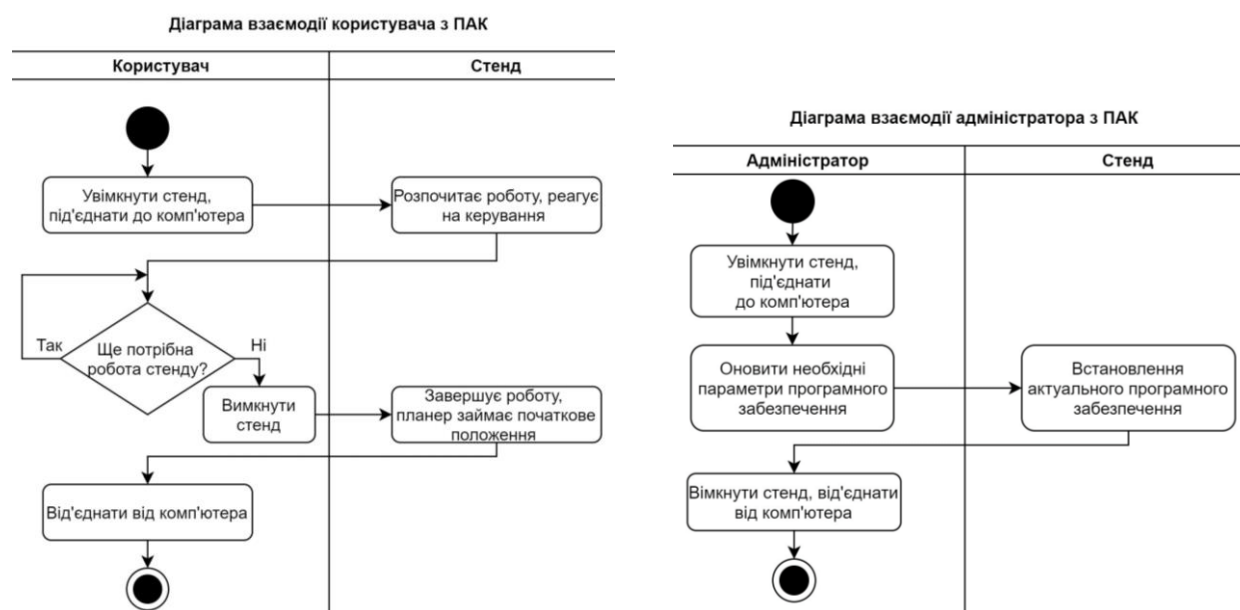


Рис. 1. Діаграми діяльності користувача (студента) та адміністратора з ПАК

Розробка апаратної частини комплексу. Проведений аналіз складових модулів, з яких має складатись ПАК показав, що важливою частиною є мікроконтролерний модуль, що має забезпечувати зчитування даних з комп'ютеру, оброблювати його та формувати вихідний сигнал на безпосередньо модель планеру. Розглянувши існуючі модульні рішення, а саме контролери на базі платформи Arduino було обрано Arduino UNO, оскільки вона має відносно високу обчислювальну потужність та помірні розміри [6].

З метою підвищення реалістичності керування було прийнято рішення використовувати в якості пристрою вводу джойстик Logitech Extreme 3D PRO. При обранні моделі літального апарату (ЛІА) важливим показником були характеристики матеріалу, з якого вона зроблена. Результатом аналізу стало визнання пінополістиролу як найкращого варіанту в якості основного матеріалу для моделі. З метою забезпечення рухомості моделі ЛІА інтегровано до стенду два сервоприводи (руля лівого та правого) MG-90S, кроковий двигун 28BYJ-48 та драйвер ULN20 до нього. Для забезпечення наочної імітації роботи ЛІА, а саме – для рухомості керма висоти, керма напрямку та елеронів було використано декілька компактних сервоприводів DS-37. З огляду на обмеженість кількості інтерфейсів вводу плати Arduino було задіяно розширювач портів ШІМ PCA9685. Також використано блок живлення 12 В та перетворювач постійного струму LM2596 [7,8]. В результаті проектування з урахуванням обраних компонентів було розроблено архітектуру програмно-апаратного комплексу, що зображено на функціональній схемі (рис. 2).

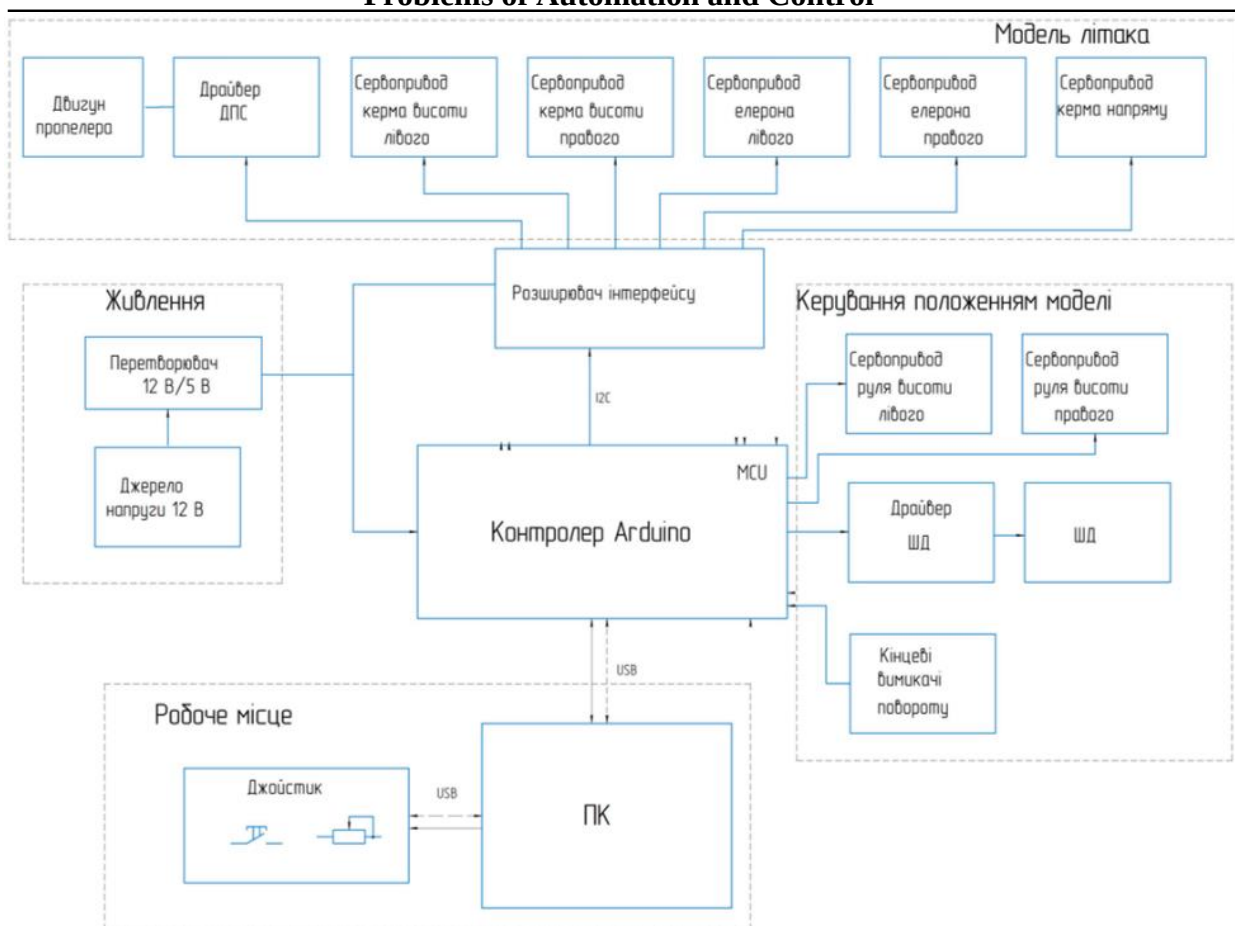


Рис.2. Функціональна схема комплексу і його вигляд у зібраному стані



Рис. 3. Фото програмно-апаратного комплексу для вивчення процесів керування планером

Розробка програмної частини комплексу. Початок роботи комплексу починається з ініціалізації програмного забезпечення на контролері Arduino та персональному комп'ютері (ПК). Після чого ПК налаштовує обмін даними з джойстиком та отримує його початкове положення. Зчитані дані комп'ютер обробляє (нормує) та відправляє до контролеру Arduino. Контролер постійно перебуває в очікуванні даних щодо актуального положення джойстика у просторі. Після отримання даних він формує і надсилає відповідні команди до виконавчих механізмів (сервоприводів та крокового двигуна) для встановлення планеру у необхідне положення.

Комунікація мікроконтролера з комп'ютером здійснюється через інтерфейс COM-порту (последовательный порт). Це асинхронний інтерфейс, який здатен передавати по 1 біту даних за раз.

Зазвичай його використовують для підключення пристроїв вводу як то миша та клавіатура, тож він здатний забезпечити доволі швидкий обмін даними.

З метою підвищення подібності до реальних систем передбачено певну затримку (інерцію) між моментом впливу оператора на джойстик та реакцією планера.

В подальшому роботу стенду планується розширити:

- апаратну частину модифікувати для застосування в умовах проблем з мережевим живленням та відсутності персонального комп'ютеру;

- функціональну частину шляхом впровадження журналу використання стенду, поліпшенню процесу основних налаштувань шляхом впровадження інтерфейсу адміністратор.

Подальший розвиток програмно-апаратного комплексу підвищить зручність налаштування і використання системи, знизить собівартість стенду. Розробка лабораторних програмно-апаратних комплексів дозволяє розширити освітні можливості під час вивчення дисциплін, які пов'язані з розробкою систем автоматичного керування, програмуванням мікроконтролерів [9-11], вивченням особливостей літальних апаратів, а також дає можливість студентам проводити дослідження основних параметрів об'єкта керування на прикладі літального апарату типу «Планер».

Висновки. В результаті проведеного дослідження було визначено особливості управління планером та структуру механізмів, що забезпечують процес керування. Було створено програмно-апаратний комплекс, який дозволяє досліджувати взаємодію органів керування та виконавчих механізмів польоту. Розроблено програмне забезпечення, яке спрямовано на легке налаштування та швидкий запуск навчального стенду. На сьогодні програмно-апаратний комплекс вже має працездатний стан та використовується на лекційних та лабораторних заняттях кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок НУ «Запорізька політехніка».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ICAO. Airplane upset prevention and recovery training aid [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.icao.int/safety/loci/AUPRTATablet/index.html>
2. Nae C. Military Aircraft Flight Control / C. Nae, N. Catalin, A. Nicolin / Aeronautics - New Advances, 2022
3. IVAO. Introduction to flight controls [Electronic resource]. – Access mode: https://wiki.ivao.aero/en/home/training/documentation/Introduction_to_flight_controls
4. U.S. Department of Transportation. Aviation Instructor's Handbook. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/aviation_instructors_handbook/aviation_instructors_handbook.pdf
5. Kern D. Introduction to Fly-by-Wire Flight Control Systems: The professional pilot's guide to understanding modern aircraft controls / D. Kern / Paperback, 2021
6. Arduino comparison. [Electronic resource]. – Access mode: <https://diyi0t.com/technical-datasheet-microcontroller-comparison>
7. Sky Brary. Flight Controls, [Electronic resource]. – <https://skybrary.aero/articles/flight-controls>
8. Introduction to aircraft flight controls, [Electronic resource]. – <https://www.flightliteracy.com/introduction-to-flight-controls>
9. O. Nazarova, V. Osadchyy, S. Shulzhenko, M. Olieinikov Software and Hardware Complex for The Study of Electropneumatic Mechatronic Systems // 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005698.
10. Кулинич, Е.М. Лабораторний стенд з бездротовим інтерфейсом для дослідження електроприводу постійного струму / Е.М. Кулинич, О.С. Назарова, Д.В. Гончаров, С.Г. Чернишев, В.В. Піскун // Електроенергетика та електротехніка, 2020. №3. С. 24-36. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2020-3-3>
11. Nazarova O. S., Osadchyy V. V., Rudim B. Yu. Research of the microprocessor liquid level automatic control system // Applied Aspects of Information Technology, 2023. Vol. 6 No. 2. pp. 163–174. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.12>

**РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ ПАКУВАННЯ ПАСТИ В ПОЛІМЕРНІ ПАКЕТИ ТА
ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ**

В даній роботі вдосконалено систему керування технологічною машиною-автоматом шляхом її доповнення підсистемою діагностування та прогнозування стану машини. Для цього розроблено систему датчиків загального стану машини, алгоритм обробки даних цих датчиків та систему прийняття рішень про технічне обслуговування машини. Також розроблено експертну систему діагностування та прогнозування стану технологічної машини пакування пасти в полімерні пакети на універсальній мові програмування Prolog для розроблення експертних систем.

Ключові слова: технологічне обладнання, система керування, діагностування, моніторинг, прогнозування, стан, Prolog, експертна система.

B. Palchevskyi, O. Rechetylo, Ju. Lapchenko, V. Gladun, I. Vlasiuk. Development of the structure of the system for diagnosing and forecasting the state of the technological machine for packing pasta into polymer bags and expert system.

In this work, the control system of the technological automatic machine was improved by supplementing it with a subsystem for diagnosing and predicting the state of the machine. For this, a system of sensors for the general state of the machine, an algorithm for processing data from these sensors, and a decision-making system for machine maintenance were developed. An expert system for diagnosing and forecasting the state of the technological machine for packing pasta into polymer bags has also been developed using the universal Prolog programming language for the development of expert systems.

Keywords: technological equipment, control system, diagnostics, monitoring, forecasting, state, Prolog, expert system.

Постановка проблеми.

Ускладнення завдань, що виконує сучасне технологічне обладнання, забезпечується модифікацією структури його системи автоматичного керування (САК). Розвинута САК виконує окрім функцій керування робочим процесом, також і функції технічного діагностування і прогнозування стану технологічного обладнання для визначення термінів його технічного обслуговування. Введення системи моніторингу параметрів технологічного обладнання дозволяє здійснювати оцінку технологічного обладнання за його фактичним станом, що забезпечує підвищення ефективності виробництва за рахунок зниження часу простоїв. Для цього САК повинна забезпечити на нижньому рівні моніторинг і збір виробничої інформації, а на вищому рівні – її аналіз і формування впливів керування. Необхідність побудови структури таких розвинених систем керування і взаємодії їх елементів при функціонуванні, а також принципи використання математичних моделей висувають на перший план необхідність проведення аналітичних досліджень та створення відповідної методики.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Впродовж останніх десятиріч відзначається постійне зростання кількості функцій, що виконуються технологічним обладнанням [2, 4, 6, 9]. При цьому спостерігається зростання питомої ваги інформаційних процесів при функціонуванні технологічного обладнання [7, 8, 9, 10]. На сьогоднішній день найкращих результатів в глобальній міжнародній конкуренції досягли виробники технологічного обладнання, принципи створення якого базуються на ідеях інтелектуального виробництва [10,11]. Аналіз літературних джерел показав, що більшість систем керування в технологічному обладнанні об'єднують функції керування та функції діагностування не в автоматичному режимі а, в основному, на загальному рівні технологічної машини.

Методи оцінки стану пакувального обладнання можна розділити на три основні групи: візуальні, інструментальні та аналітичні. Візуальні методи полягають у спостереженні за зовнішнім виглядом, рухом і звуком обладнання, а також у перевірці наявності та якості пакетів. Інструментальні методи полягають у вимірюванні різних параметрів обладнання, таких як температура, тиск, напруга, сила, вібрація, швидкість, потужність і т.д. Аналітичні методи полягають у використанні математичних моделей, статистичних даних, експертних систем і

штучного інтелекту для аналізу інформації, отриманої візуальними та інструментальними методами, і виявлення причин та наслідків несправностей, прогнозування відмов і рекомендації щодо ремонту і технічного обслуговування обладнання [1, 5].

Постановка завдань.

У сучасній виробничій системі при автоматизації технологічного процесу необхідно забезпечити окрім функцій керування також і виконання функцій діагностування. Першочерговим завданням постає необхідність вивчення проблемних питань будови структури САК, які забезпечать взаємодію цих функцій (оперативний моніторинг та збір даних з технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів, їх обробку та аналіз, а також вироблення рекомендацій з технічного обслуговування). Така система керування на базі результатів моніторингу здатна виправляти "недоліки" робочого процесу, експлуатаційні відмови механічної частини технологічного обладнання і відслідковувати наявність розхідних матеріалів. Метою роботи є створення принципів підходів побудови методики та алгоритмів роботи САК, які забезпечать єдність керування робочим процесом, діагностику стану механічної частини і аналіз стану матеріального забезпечення робочого процесу при функціонуванні технологічного обладнання.

Викладення основного матеріалу.

Для забезпечення в САК технологічного обладнання окрім функцій керування також і виконання функцій діагностування необхідно забезпечити збір даних на його локальному рівні та їх аналіз для формування коригуючих впливів для керування робочим процесом, здійснення технічного обслуговування і вплив на стан матеріального забезпечення протікання робочого процесу. Реалізація цих функцій забезпечується розвинутою системою керування, яка забезпечує вирішення завдань, що пов'язані з моніторингом та прогнозуванням технічного стану механізмів, вузлів та систем технологічних машин різного виду. Розвинена САК бере на себе завдання керування робочим процесом машини та визначення її технологічних, експлуатаційних і виробничих параметрів.

Для порівняльного аналізу методів оцінки стану пакувального обладнання було використано такі критерії, як простота, швидкість, точність, інформативність, ефективність, економічність, безпека і екологічність. За кожним критерієм ми присвоїмо методам оцінки бали від 1 до 5, де 1 – найгірший показник, а 5 – найкращий. Таким чином, ми отримаємо таблицю 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів оцінки стану пакувального обладнання

Критерій	Візуальні методи	Інструментальні методи	Аналітичні методи
Простота	5	3	2
Швидкість	4	4	3
Точність	2	4	5
Інформативність	2	4	5
Ефективність	3	4	5
Економічність	5	3	2
Безпека	4	3	4
Екологічність	5	4	4
Сума балів	30	29	30

Аналіз даних таблиці 1 показує, що візуальні і аналітичні методи оцінки стану пакувального обладнання мають однакову суму балів, але різні переваги та недоліки. Візуальні методи є найпростішими, найдешевшими, найбезпечнішими і найекологічнішими, але найменш точними, інформативними та ефективними. Аналітичні методи є найточнішими, найінформативнішими і найефективнішими, але найскладнішими, найдорожчими та найменш економічними. Інструментальні методи займають проміжне місце між візуальними і аналітичними методами за більшістю критеріїв, але не мають вирішальної переваги або недоліку.

Таким чином, можна зробити висновок, що немає ідеального методу оцінки стану пакувального обладнання, який би задовольняв усі критерії. Кожен метод має свої сильні і слабкі сторони, які повинні бути враховані при виборі методу для конкретної ситуації. Оптимальним варіантом може бути комбінація різних методів, яка дозволить отримати максимальну інформацію про стан обладнання з мінімальними витратами і ризиками.

Основні функції технологічної машини, для якої розроблена система діагностування і прогнозування стану виконує пакування пасти в полімерні пакети. Основними функціями машини є:

- підготовка плівки і продукту;
- формування туби з плівки;
- запайка і розрізання пакетів;
- наповнення пакетів продуктом;
- загвинчування пробок;
- вивантаження пакетів.

Для процесу зварювання пакета на пакувальній машині можна вибрати такі параметри контролю, сигналізації, захисту, блокування та регулювання:

1. Температура зварювання – параметр контролю і регулювання. Контролюється за допомогою термопари та терморегулятора. Регулюється за допомогою тиристорного регулятора. Сигналізується за допомогою світлового індикатора. Захищається від перегріву за допомогою термостата і контактора. Блокується в разі виходу температури за допустимий діапазон.

2. Тиск зварювання – параметр контролю і регулювання. Контролюється за допомогою манометра. Регулюється за допомогою пневматичного приводу. Сигналізується за допомогою світлового індикатора. Захищається від перевищення тиску за допомогою запобіжного клапана. Блокується в разі виходу тиску за допустимий діапазон.

3. Ширина пакета – параметр контролю. Контролюється за допомогою лазерного датчика і монітора. Сигналізується за допомогою світлового індикатора. Захищається в разі виявлення неправильної ширини пакета за допомогою сигнальної лампи. Блокується в разі виявлення неправильної ширини пакета за допомогою кнопки "Стоп".

4. Довжина пакета – параметр контролю розміром продукту, що пакується, і типом упаковки. Довжина пакета може бути регульована на пакувальній машині за допомогою датчика фотомітки або за допомогою панелі управління. Довжина пакета впливає на продуктивність машини, витрати матеріалу та якість упаковки. Якщо довжина пакета занадто мала або занадто велика, це може призвести до неправильного формування і запайки пакета, втрати вакууму або герметичності, а також до збільшення відходів плівки. Тому необхідно контролювати довжину пакета і налаштовувати її в залежності від потреб.

Точки контролю стану технологічного комплексу – це і місця або елементи машини, які потребують регулярного перевіряння або налаштування для забезпечення нормальної роботи і якості пакування.

Таблиця 2 – Точки контролю стану технологічної машини

Точка контролю стану технологічного комплексу	Опис
1	2
Вузол примусової розмотування рулону плівки	Контроль наявності та напруги плівки для уникнення обриву або складання плівки
Датчик фотомітки	Контроль правильного спрацювання датчика для точного формування і розрізання пакетів
Пристрій формування пакета (тубус з "коміром")	Контроль геометрії і стабільності форми пакета для уникнення деформації або пошкодження
Пристрої запайки	Контроль параметрів запайки (температура, тиск, час) для забезпечення герметичності і міцності шва
Дозатор	Контроль точності і однорідності дозування продукту для уникнення переповнення або недонаповнення пакета
Пристрої установки клапана	Контроль правильного положення і функціонування клапана на пакетах
Термодатер	Контроль читабельності і актуальності даних про дату виготовлення і термін придатності на пакетах

Експлуатація і підтримка системи діагностування передбачає запуск і зупинку процесу діагностування за необхідності або за графіком, отримання і збереження даних про стан об'єктів контролю, аналіз і оцінку результатів діагностування, виявлення і класифікацію відмов та несправностей, вжиття заходів щодо їх усунення або запобігання, планування і виконання профілактичних ремонтів і технічного обслуговування засобів діагностування.

Блок-схема функціонування системи моніторингу та діагностування приведена на рисунку 1.

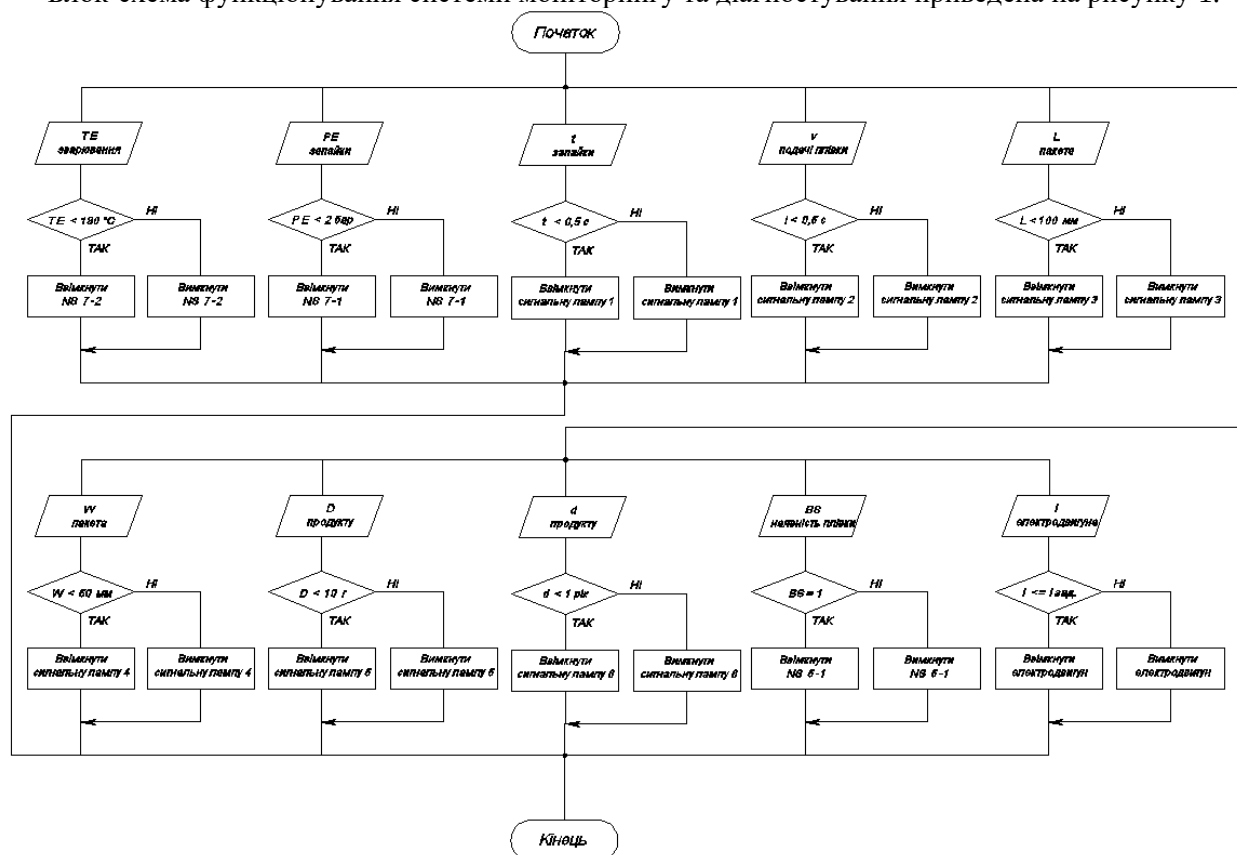


Рисунок 1 – Блок-схема функціонування системи моніторингу та діагностування

Зчитуються дані з датчика температури TE зварювання, якщо воно менше 180 °C, то вмикається NS 7-2, інакше він вимикається. Зчитуються дані з датчика тиску PE запайки, якщо воно менше 2 бар, то вмикається NS 7-1, інакше він вимикається. Зчитуються дані про час t запайки, якщо воно менше 0,5 с, то вмикається сигнальна лампа 1, інакше вона вимикається. Зчитуються дані з датчика швидкості v подачі півки, якщо вона менше 0,5 м/с, то вмикається сигнальна лампа 2, інакше вона вимикається. Зчитуються дані про довжину L пакета, якщо вона менше 100 мм, то вмикається сигнальна лампа 3, інакше вона вимикається. Зчитуються дані про ширину W пакета, якщо вона менше 50 мм, то вмикається сигнальна лампа 4, інакше вона вимикається. Зчитуються дані про кількість D продукту, що подається в пакет, якщо вона менше 10 г, то вмикається сигнальна лампа 5, інакше вона вимикається. Зчитуються дані про дату d виготовлення продукту, якщо вона більше 1 року, то вмикається сигнальна лампа 6, інакше вона вимикається. Зчитуються дані з датчика наявності півки BS, якщо вона рівна одиниці, то вмикається NS 5-1, інакше він вимикається. Зчитуються дані з датчика I сили струму електродвигуна, якщо вона менше заданої, то вмикається електродвигун, інакше він вимикається.

Для розробки експертної системи діагностування та прогнозування стану технологічної машини пакування пасти в полімерні пакети було обрано мову програмування Prolog (рис. 2), так як ця мова є універсальною для створення експертних систем. Для роботи програми було описано логіку роботи самої програми. Для наповнення бази даних, дані були взяті під час дослідження автомату на виробництві.

Дана програма працює таким чином:

При відкритті вікна програми обираємо: Files → load → menu.pro.

Після виконання даних операцій виводиться наступне вікно.

Далі обираємо вкладку Run, після даної операції буде виведено вікно консультації (рис. 3).

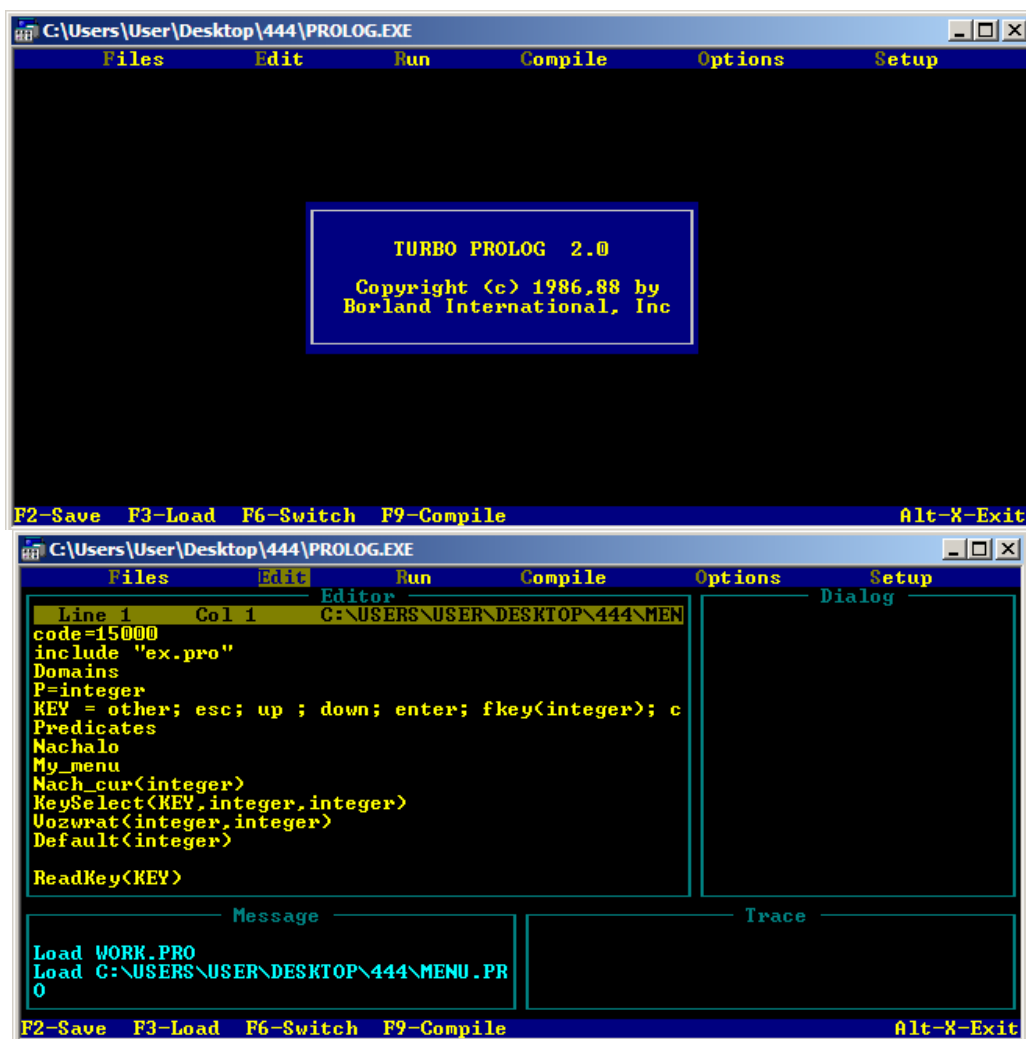


Рисунок 2 – Вікно програми Prolog

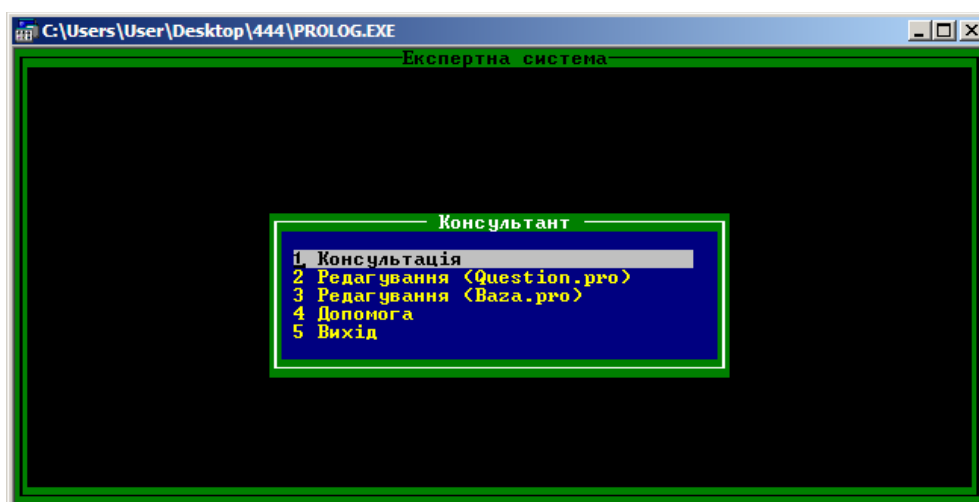


Рисунок 3 – Вікно програми Prolog

На даному вікні програми виведено наступні пункти меню:

1. Консультація – даний пункт меню запускає програму в режимі опитування;
2. Редагування (Question.pro) – після обирння дозволяє редагувати файл з питаннями, які використовуються для тестування стану машини;
3. Редагування (Baza.pro) – після обирання дозволяє редагувати файл з правилами, які використовуються для тестування стану машини;

4.Допомога – після обирання виводить допомогу по користуванню програми;

5.Вихід – після обирання припиняє роботу програми.

1. Після запуску консультації читаємо запитання та вибираємо правильну відповідь. Є два типи відповідей: 1-так; 2-ні (рис 4). Після проходження консультації програма виведе відповідь.

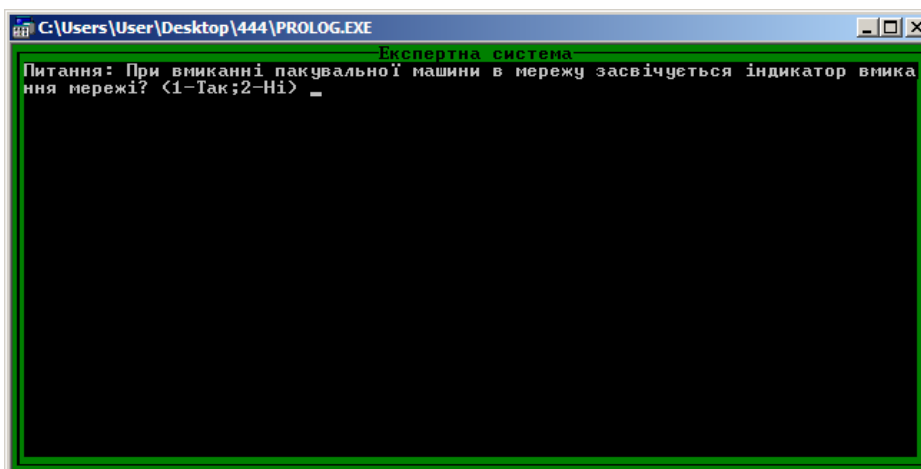


Рисунок 4 – Вікно програми Prolog

2. Редагування (Question.pro) – дозволяє редагувати файл питань, це необхідно для відладки роботи програми, а також запису нових запитань (рис. 5).

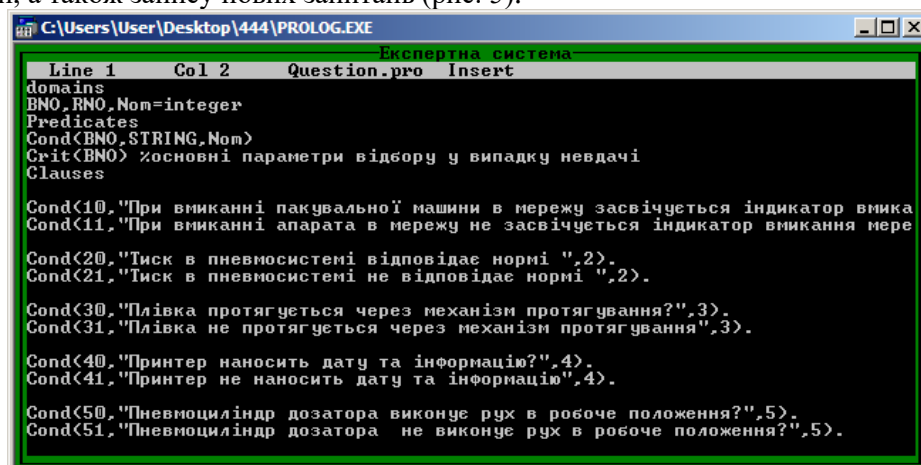


Рисунок 5 – Вікно програми Prolog

3.Редагування (Baza.pro) – дозволяє редагувати файл з правилами які описують роботу програми (рис. 6).

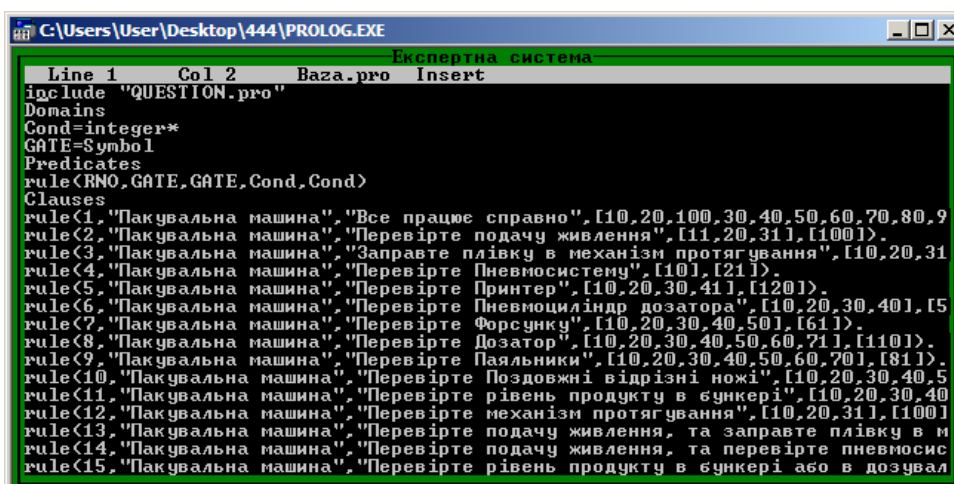


Рисунок 6 – Вікно програми Prolog

4. Допомога – даний пункт меню виводить на екран допомогу, а також опис програми.

Після проходження тестування, програма виведе відповідь про несправність вузлів пакувальної машини (рис. 7).

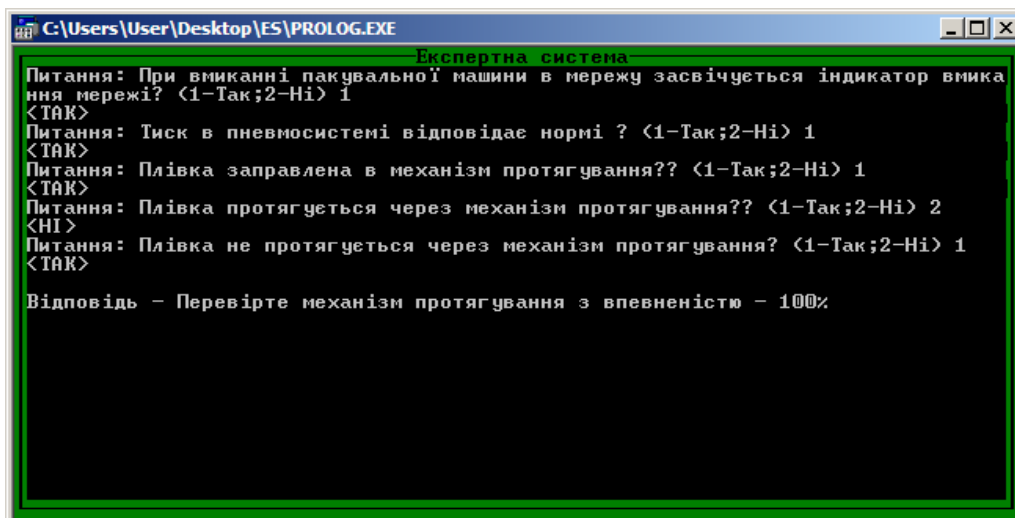


Рисунок 7 – Вікно програми Prolog

Висновки. Вдосконалено систему керування технологічною машиною-автоматом шляхом її доповнення підсистемою діагностування та прогнозування стану машини. Для цього розроблено автоматизовану систему діагностування та прогнозування загального стану машини, алгоритм обробки даних цих датчиків та систему прийняття рішень про технічне обслуговування машини. Підібрано відповідні технічні засоби автоматизації. Також розроблено експертну систему діагностування та прогнозування стану технологічної машини пакування пасти в полімерні пакети на універсальній мові програмування Prolog.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алгоритми функціонування та програмне забезпечення багаторівневої системи моніторингу стану та технічного діагностування обладнання об'єктів електроенергетики / М. В. Мислович, Р. М. Сисак, Л. Б. Остапчук [та ін.] // Техн. електродинаміка. 2016. № 4. С. 86–88.
2. Мислович М. В. Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів / М. В. Мислович, Р. К. Сисак // Техн. електродинаміка. 2015. – № 1. С. 78–85. - Бібліогр.: 9 назв.
3. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. Київ: «Либідь», 2003. 270 с.
4. Gaines B.R., Norrie D.H. Knowledge Systematization in the International IMS Research Program // Proc. of IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for 21st Century. 1995. Vol.1. pp. 958-963.
5. Gola A., Świć. A. Design of FFMS Storage Subsystem Using Computer Simulation Method. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2013, 4(142), s. 312-318.
6. Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. 528 p.
7. Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015. 376 p.
8. Patent USA № 4 670 834 SYSTEM AND METHOD FOR AUTOMATIC DIAGNOSTIC PROGRAM MODIFICATION BASED ON CONTROL PROGRAM MODIFICATION Mark Byal; Francis G.Leo; Marvin J.Schwenke. МПК G06F 15/00, 02.06.1987.
9. Policymaker's A. Guide to Smart Manufacturing, Information Technology & Innovation Foundation (ITIF), 30 November 2016, <https://www.itif.org/publications/2016/11/30/policymakers-guide-smart-manufacturing>.
10. Prasanth, S. P.; Pramod, V.R.; Jagathy Raj, V. P. Barriers in TPM Implementation in Industries. // International Journal of Scientific & Technology Research. 2, 5(2013), pp. 28-33.

УДК 519.6

Б. О. Пальчевський, О. М. Решетило, Л. М. Маркіна, В. М. Войтко

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи контролю параметрів деталей підшипників. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та модулі промислового контролера. Розроблено принципову електричну схему комутації модулів контролера з блоком живлення, датчиками та виконавчими механізмами. В SCADA-системі Genie 3.0 розроблена стратегія керування технологічним процесом. Проведено розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи управління.

Ключові слова: дослідження, модернізація, автоматизована система, контроль, параметри, підшипник, алгоритм, програма, контролер.

B. Palchevskyi, O. Reshetylo, L. Markina, V. Vojtko. Research and modernization of the automated control system of the parameters of bearing parts

The work is devoted to the design of an automated system for monitoring the parameters of bearing parts. An analysis of the technological process as an object of management was carried out, and research tasks were defined. A functional automation scheme has been developed, technical means of automation and industrial controller modules have been selected. The basic electrical circuit of the switching of the controller modules with the power supply unit, sensors and actuators has been developed. In the Genie 3.0 SCADA system, a technological process control strategy has been developed. The calculation of the economic efficiency of the implementation of the developed automated management system was carried out.

Key words: research, modernization, automated system, control, parameters, bearing, algorithm, program, controller.

Постановка проблеми.

Розробка автоматизованої системи контролю параметрів деталей підшипників є дуже актуальною з кількох причин:

1. Підвищення якості продукції: Автоматизована система контролю допомагає виявляти невідповідності в розмірах, формі та інших параметрах деталей підшипників, що дозволяє підвищити якість виробленої продукції. Це особливо важливо для підшипників, які працюють в умовах великих навантажень та підвищених температур.

2. Зменшення витрат: Автоматизована система контролю може швидко та точно виявляти дефекти, що допомагає уникнути відходів сировини та знизити витрати на виробництво.

3. Збільшення ефективності: Автоматизована система може працювати безперервно і в режимі реального часу, що дозволяє збільшити ефективність контролю та виробництва.

4. Дотримання стандартів та нормативів: Виробники підшипників повинні дотримуватися строгих стандартів якості. Автоматизована система контролю допомагає забезпечити відповідність виробленої продукції цим стандартам і уникнути проблем із регуляторними органами.

5. Мінімізація ризику виробничих аварій: Відповідність параметрів деталей підшипників є критично важливою для безпеки та надійності обладнання. Автоматизована система контролю допомагає виявити дефекти вчасно, що допомагає уникнути аварій та зберегти безпеку на виробництві.

Усі ці фактори роблять розробку автоматизованої системи контролю параметрів деталей підшипників дуже актуальною і важливою для виробників підшипників та їх клієнтів.

Проведений аналіз технологічного процесу роботи установки для контролю параметрів

деталей підшипників показав, що контроль параметрів деталей підшипників здійснюється застарілими технічними засобами зокрема датчиком мембранного типу, що періодично виходить з ладу в міру зношення мембрани, та має значну інертність, окрім цього обладнання, до якого підключений датчик морально і технічно застаріле, тому не може забезпечити необхідну точність вимірювання параметрів, що в свою чергу негативно впливає на якість підшипників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

«Можливість виявляти види відмов та причини пошкодження підшипників кочення – перший крок на шляху до запобігання повторним пошкодженням та підвищення надійності обладнання.

Підшипники – один із найпоширеніших компонентів сучасного промислового обладнання. Вони з'єднують деталі, що обертаються (вали) з нерухомими компонентами (корпусу) з мінімальним тертям. Підшипники забезпечують плавну роботу обладнання, від автомобілів і повітряних суден до генераторів, конвеєрів, друкарських машин та будь-якого обладнання або техніки з компонентами, що обертаються.

Можливість виявляти види відмов та причини пошкодження підшипників кочення – перший крок на шляху до запобігання повторним пошкодженням та підвищення надійності обладнання.

Підшипники – один із найпоширеніших компонентів сучасного промислового обладнання. Вони з'єднують деталі, що обертаються (вали) з нерухомими компонентами (корпусу) з мінімальним тертям. Підшипники забезпечують плавну роботу обладнання, від автомобілів і повітряних суден до генераторів, конвеєрів, друкарських машин та будь-якого обладнання або техніки з компонентами, що обертаються.

Фахівці, які працюють із промисловою технікою, повинні добре розуміти принципи функціонування підшипників, а також причини їхнього передчасного виходу з ладу.

З огляду на це Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) опублікувала стандарт ISO 15243, що надає класифікацію різних типів пошкоджень підшипників кочення. Для кожного типу пошкоджень у стандарті описані характеристики, зовнішні прояви та можливі причини. Остання редакція стандарту опублікована у 2017 р.

Важливо знати не тільки характеристики і зовнішні прояви типу пошкоджень, але й розуміти причини їх виникнення. Це дозволяє використовувати рекомендації щодо коригувальних заходів, які допомагають уникнути пошкоджень у майбутньому. Але ж, якщо підшипник експлуатується вщент і відбувається його заклинювання, з'ясувати тип і причини пошкодження неможливо» [1].

«Програмне забезпечення SKF BART розроблене інженерами SKF і тепер доступне клієнтам SKF. Клієнтам надається базовий навчальний курс з підшипників, методів огляду підшипників та використання ПЗ SKF BART. У тісній співпраці з інженерами із застосування або фахівцями компанії SKF клієнти готують звіти про результати огляду. Звіт за результатами огляду BART затверджує експерт SKF. Під час огляду можна визначити, чи потрібна заміна підшипника, чи можна його повторно використовувати, чи підшипник підлягає відновленню або утилізації. Звіт також можна використовувати для документування перевірки нових підшипників перед тим, як ввести їх в експлуатацію. Звіт корисний у разі тривалого зберігання підшипників на складі.

При необхідності інженери із застосування компанії SKF можуть провести повний аналіз пошкоджень підшипників та надати рекомендації для підвищення надійності. Інженери SKF можуть використовувати штучний інтелект (AI) [4] при проведенні аналізу пошкоджень підшипників. Штучний інтелект використовує систему комп'ютерного зору, яка здатна оцінювати пошкодження підшипників за допомогою цифрової фотографії. Система застосовує штучний інтелект у вигляді нейронної мережі з алгоритмом розпізнавання зображень, навчену на основі тисяч зображень пошкоджених підшипників із архівів компанії SKF.

На закінчення можна відзначити, що для класифікації типів пошкоджень підшипників кочення, що працюють в обладнанні, використовується стандарт ISO 15243, який також допомагає виявляти причини пошкоджень. Знання типових пошкоджень підшипників та причин їх виникнення дозволяє вжити коригуючих дій для уникнення повторення відмов. Такий підхід допомагає значно зменшити ризик виникнення катастрофічних поломок та потенційно підвищити надійність та доступність обладнання. Під час проведення обслуговування підшипники можна оцінити щодо їх повторного використання чи можливості відновлення.

Щоб вивчити та отримати краще уявлення про роботу підшипників, виконується збір даних про типи та причини пошкоджень підшипників та інших пов'язаних із цим відомостей. Компанія SKF застосовує ПО SKF BART, яке дозволяє клієнтам проводити інспекцію підшипників та складати звіти про причини пошкоджень» [1].

«Підвищений шум під час роботи може бути викликаний хвилястістю компонентів підшипника, локальними дефектами кульок або кілець або частинками забруднень усередині підшипника. Оскільки базові вимоги до підшипників щодо жорсткості, вантажопідйомності, граничної частоти обертання та ресурсу мають критичне значення, низькі рівні шуму та вібрації стають ще більш важливими характеристиками. Ці параметри можна виміряти за допомогою обладнання SKF для вимірювання вібрації. Високотехнологічний аналіз та вимірювання, такі як частотний аналіз вібрації (FFT) та інші сучасні методи дозволяють виявляти дефекти. Спектральні шаблони дають змогу оптимізувати експлуатаційні характеристики підшипників для конкретних областей застосування. За наявності деякого досвіду результати вимірювань цих приладах також можуть використовуватися експертами визначення невідповідних виробничих операцій, наприклад, відсутність хонінгування. Впровадження загальносвітової системи калібрування дозволяє налаштувати обладнання для аналізу вібрації відповідно до міжнародних стандартів» [5].

«Постійне вдосконалення стандартів якості, що застосовуються в автомобільній галузі, спричинило розвиток нових автоматичних вимірювачів шуму для "типових" автомобільних підшипників, таких як радіально-упорні підшипники, конічні роликопідшипники та ступичні вузли.

На додаток до задоволення потреб контролю якості як постачальників та покупців, ці автоматичні випробувальні прилади також використовуються для розробки конструкції транспортних засобів, де необхідний додаток осьових випробувальних навантажень та швидкостей, що відповідають передбачуваним робочим умовам підшипників» [6].

Робочі параметри випробувальної установки MVU 150/250A/B наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Робочі параметри випробувальної установки

№	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Допустимі межі	Відхилення
1.	Робочий діапазон зовнішнього діаметра підшипника	мм.	40...250	-
2.	Осьове випробувальне навантаження	Н	до 750	± 10%
3.	Частота обертання шпинделя	об/хв.	700...1800	± 1
4.	Діапазон частот шуму	Гц	0...25000	± 10
5.	Діапазон вимірювань вібрації	мкм/с	до 5000	± 10
6.	Тиск повітря в пневматичній системі	бар	5...10	± 1

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу установки для вимірювання шуму та вібрації підшипників MVU 150/250A/B можна зробити наступні висновки.

Базова установка для контролю параметрів підшипника має ряд недоліків, зокрема зношення мембрани вимірювального датчика викликає до зниження точності вимірювання параметрів, та періодичного виходу з ладу датчика. Контрольно-вимірювальна апаратура установки є морально та технічно застарілою. Для роботи установки необхідні значні витрати на енергоресурси (електроенергію). Продуктивні роботи установки не забезпечує необхідно рівня виробництва.

Для якісного та швидкого контролю параметрів підшипника для існуючої базової установки необхідно:

1. провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
2. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
3. обґрунтувати вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
4. розробити електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
5. розробити програмне забезпечення для контролера;
6. провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування установкою для контролю параметрів підшипника.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз технологічного процесу контролю параметрів підшипника як об'єкта керування передбачає визначення вхідних та вихідних параметрів, керуючих сигналів, вплив зовнішніх збурюючих факторів, а також взаємодії всіх параметрів в процесі керування та контролю.

Вхідними параметром технологічного процесу є діаметр підшипника $D_{п.}$

Вихідними параметрами є:

- величина вібрації підшипника $Q_{вібр.}$;
- величина шуму підшипника $Q_{шуму.}$

Керуючими параметрами є:

- осьове випробувальне навантаження P ;
- частота обертання шпинделя установки n .

Збурюючими параметрами є:

- величина шуму в приміщенні $Q_{ш.пр.}$;
- температура навколишнього середовища $t_{н.с.}$.

Взаємодію усіх вхідних, вихідних, керуючих та збурюючих параметрів технологічного процесу вимірювання параметрів деталей підшипника наведено на рисунку 1.

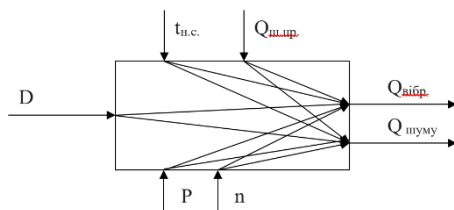


Рисунок 1 – Схема взаємозв'язків параметрів технологічного процесу вимірювання параметрів деталей підшипника

Величина вхідного параметра D (зовнішній діаметр підшипника) є константою для партії підшипників, що контролюється, і залежить лише від марки підшипника

Величина керуючого параметра P (осьового випробувального навантаження) також є константою і його величина становить 750 Н та залежить лише від тиску повітря (5 бар), що поступає в циліндр односторонньої дії, налаштування якого реалізовано механічним методом – шляхом зміни жорсткості пружини клапана тиску.

Зміна хоча б одного із збурюючих параметрів негативно позначиться на точності вимірювання вихідних параметрів, тому, згідно технологічного регламенту роботи установки, вона знаходиться в окремому ізолюваному від впливу температури та шуму приміщенні та всі вимірювання проводяться при температурі повітря 20 °С.

Проведений аналіз показав, що основними параметрами, що суттєво впливають на якість вимірювання є температура та рівень шуму в приміщенні, тому передбачені заходи щодо їх усунення, а саме розміщення випробувальної установки в окремому ізолюваному приміщенні. Встановлено, що керуючим параметром є лише частота обертання шпинделя установки.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 2.

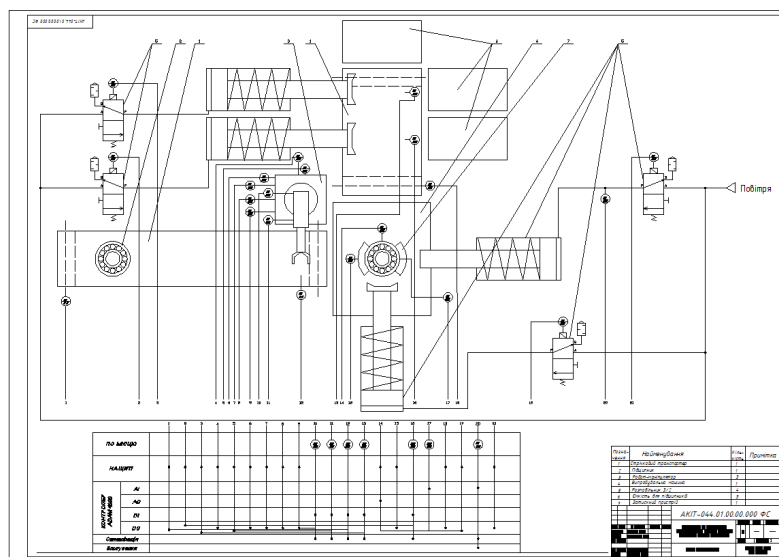


Рисунок 2. – Функціональна схема автоматизації

Основними технологічними операціями технологічного процесу вимірювання параметрів деталей підшипника є транспортування підшипника стрічковим транспортером до випробувальної установки, встановлення підшипника для випробування, поперечне та осьове затискання підшипника, випробування, переміщення підшипника на відвантажувальний стрічковий транспортер та сортування підшипників в ємкості.

З відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на пускач NS 1-1, що подає живлення на електродвигун приводу стрічкового транспортера 1, яким підшипник 2 транспортується до зони маніпулятора 3. Наявність підшипника в даній зоні контролюється датчиком BS 1-2, сигнал з якого поступає на відповідний вхід модуля дискретного вводу контролера.

Процес переміщення підшипника зі стрічки транспортера 1 до випробувальної установки відбувається наступним чином.

Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 2-1 розподільника 3/2, відбувається рух руки маніпулятора 3 вперед, доки не спрацює геркон BS 2-2 і припиниться подача сигналу на електромагніт NS 2-1 розподільника 3/2 і він перемикається. Після цього з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 2-4 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається захват рукою маніпулятора підшипника, що знаходиться на стрічці транспортера 1.

З відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера подається сигнал на електромагніт NS 2-5 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається підняття руки маніпулятора 3 вгору. Після цього з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 2-6 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається повертання руки маніпулятора ліворуч. Тоді на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 2-5 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається опускання руки маніпулятора 3 вниз під дією власної ваги. Після цього на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 2-4 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається розтискання захвату руки маніпулятора і підшипника опускається на площадку механізму його затискання в шпинделі.

Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера на кілька секунд надходить сигнал на електромагніт NS 2-5 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається підняття руки маніпулятора 3 вгору. Після цього з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 2-7 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається рух руки маніпулятора 3 назад, доки не спрацює геркон BS 2-8 і припиниться подача сигналу на електромагніт NS 2-7 розподільника 3/2 і він перемикається. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 2-9 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається повертання руки маніпулятора праворуч. Після цього на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 2-5 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається опускання руки маніпулятора 3 вниз під дією власної ваги.

Процес вимірювання параметрів деталей підшипника у випробувальній установці та їх сортування відбувається наступним чином.

З відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера подається сигнал на електромагніт NS 3-1 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається затискання підшипника в шпинделі установки. Після цього з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 3-2 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається осьове затискання підшипника в установці із заданим тиском, величина якого залежить від тиску в пневматичній системі установка, що вимірюється датчиком тиску PE 3-3, сигнал з якого надходить на відповідний канал модуля аналогового вводу контролера. Величина тиску становить 5 бар і налаштовується вручну, шляхом зміни жорсткості пружини клапана тиску КТ.

Тоді на панелі керування оператор натискає кнопку частоти обертання шпинделя для максимальної частоти обертання, що становить 1800 об/хв. і на відповідному каналі модуля аналогового виводу контролера подається сигнал на частотний перетворювач NS 3-4, що він вмикає електродвигун приводу шпинделя на задані оберти на заданий програмно час. З датчика QE 3-5 два сигнали (величина вібрації та шум) поступають на відповідні канали модуля аналогового вводу контролера. Тоді припиняється подача сигналу на частотний перетворювач NS 3-4, шпиндель зупиняється.

Якщо значення величини вібрації та шуму знаходяться в межах допуску для даного діапазону, то на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-2 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається осьове розвантаження підшипника, тоді на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-1 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається звільнення підшипника. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 3-7 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається переміщення підшипника з випробувальної установки на стрічку відвантажувального транспортера. З відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на пускач NS 4-1, що подає живлення на електродвигун приводу стрічкового транспортера 1, яким підшипник 2 транспортується до зони сортування. Наявність підшипника в даній 1-й зоні контролюється датчиком BS 4-2, сигнал з якого поступає на відповідний вхід модуля дискретного вводу контролера. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 4-4 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається переміщення підшипника зі стрічки відвантажувального транспортера у першу ємність 6 (для підшипників високої якості).

Якщо значення величини вібрації та шуму виходять за межі допуску для даного діапазону, то на панелі керування оператор натискає кнопку частоти обертання шпинделя для максимальної частоти обертання, що становить 700 об/хв. і на відповідному каналі модуля аналогового виводу контролера подається сигнал на частотний перетворювач NS 3-4, що він вмикає електродвигун приводу шпинделя на задані оберти на заданий програмно час. З датчика QE 3-5 два сигнали (величина вібрації та шум) поступають на відповідні канали модуля аналогового вводу контролера. Тоді припиняється подача сигналу на частотний перетворювач NS 3-4, шпиндель зупиняється.

Якщо значення величини вібрації та шуму знаходяться в межах допуску для даного діапазону, то на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-2 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається осьове розвантаження підшипника, тоді на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-1 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається звільнення підшипника. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 3-7 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається переміщення підшипника з випробувальної установки на стрічку відвантажувального транспортера. З відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на пускач NS 4-1, що подає живлення на електродвигун приводу стрічкового транспортера 1, яким підшипник 2 транспортується до зони сортування. Наявність підшипника в даній 2-й зоні контролюється датчиком BS 4-5, сигнал з якого поступає на відповідний вхід модуля дискретного вводу контролера. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 4-7 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається переміщення підшипника зі стрічки відвантажувального транспортера у другу ємність 6 (для підшипників хорошої якості).

Якщо значення величини вібрації та шуму знаходяться поза межами допуску і для цього діапазону, то на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-2 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається осьове розвантаження підшипника, тоді на відповідному каналі модуля дискретного виводу контролера припиняється подача сигналу на електромагніт NS 3-1 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається звільнення підшипника. Тоді з відповідного каналу модуля дискретного виводу контролера надходить сигнал на електромагніт NS 3-7 розподільника 3/2, він перемикається та відбувається переміщення підшипника з випробувальної установки на стрічку відвантажувального транспортера, яким він транспортується у третю ємність 6 (для підшипників поганої якості – браку).

В розробленій автоматизованій системі керування:

- для визначення положення підшипника для зон стрічкових транспортерів використано індуктивний датчик наближення моделі SE-SEN-TK;
- для визначення положення пуки маніпулятора використано геркони FLEX-14;
- для вимірювання тиску в пневматичній частині використано датчик моделі WIKA A-10 – 12719391;
- для вимірювання величини вібрації та шуму у випробувальній установці використано лазерний віброметр SKF MSL-7000;
- для подачі живлення на електродвигуни приводів стрічкових транспортерів використано

безконтактні пускачі ПМ 4-95 380В;

- для подачі живлення на електромагніти розподільників 3/2 використано проміжні реле control.p343, 3А, 24В DC, на 4 групи контактів;

- для керування частотою обертання шпинделя випробувальної установки використано частотний перетворювач NL1000 -01R5G2 1,5 кВт 220В для трифазних електродвигунів;

- автоматизована система керування реалізована на основі модулів промислового контролера ADAM серії 4000 фірми Iconics;

- для підключення датчика тиску та датчика вимірювання вібрації та шуму використано восьмиканальний модуль аналогового вводу ADAM-4017;

- для підключення датчика тиску та датчика вимірювання вібрації та шуму використано восьмиканальний модуль аналогового вводу ADAM-4017;

- для підключення аналогового входу частотного перетворювача використано модуль аналогового виводу ADAM-4024;

- передача сигналів між усіма модулями вводу/виводу реалізована з використанням протоколу RS-485, тому для підключення автоматизованої системи до персонального комп'ютера використано модуль перетворення інтерфейсів ADAM-4520, що конвертує сигнали RS-485 в RS-232;

- для живлення всіх модулів контролера використовується один блок живлення блок живлення моделі S-10-24 напругою 24 В силою струму 0,42 А потужністю 10 Вт.

На рисунку 3 наведена принципова електрична схема підключення апаратури до модулів контролера, а також з'єднання сигнальних модулів, блоків живлення і процесора.

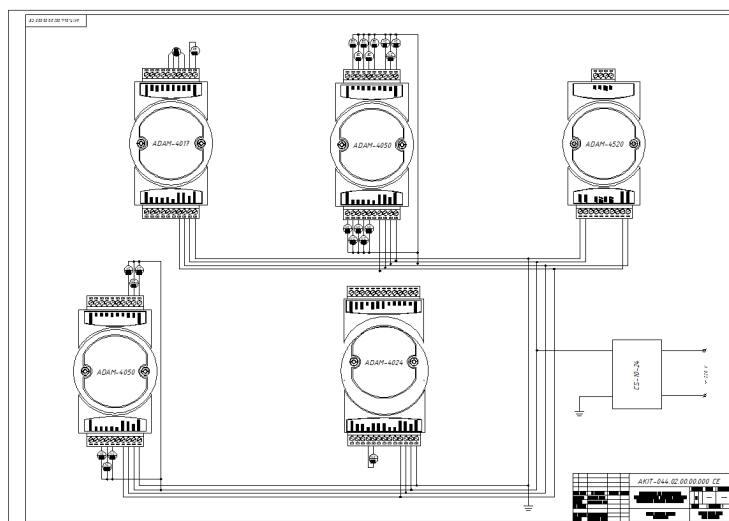


Рисунок 3. – Принципова електрична схема зовнішніх з'єднань

Програмне забезпечення для модулів контролера ADAM серії 4000 реалізовано в SCADA-системі Genie 3.0.

Для зчитування інформації з аналогового датчика (датчика тиску) використано блок аналогового вводу AI, а з датчиків з дискретним вихідним сигналом (датчики наявності) – блок дискретного вводу DI. Для передачі сигналу на виконавчі механізми (пускачі) використано блоки дискретного виводу DO, а на вхід частотного перетворювача – блок аналогового виводу AO.

Мнемосхема, розроблена в Редакторі задач, наведена на рисунку 4.

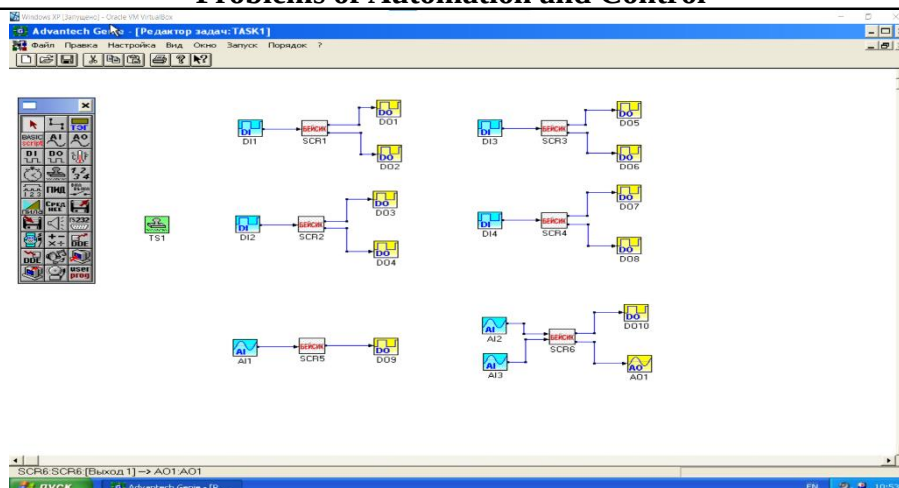


Рисунок 4 – Мнемосхема

Панель керування оператора розроблена в Редакторі задач наведена на рисунку 5.

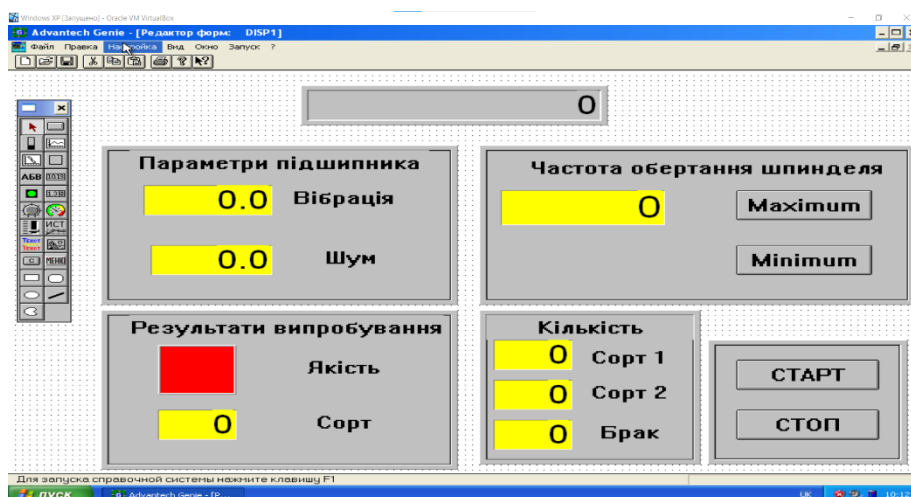


Рисунок 5 – Панель керування оператора

Після запуску стратегії на виконання оператор на панелі керування натискає кнопку «Старт», після чого кнопку «Maximum», шпindel з підшипником при цьому обертається з частотою 1800 об./хв. Якщо параметри підшипника (вібрація та шум) знаходяться в нормі, то на панелі загоряється індикатор зеленого кольору і підшипник транспортується до першої ємкості (рис. 6). Якщо ж ні, то індикатор на панелі змінює колір на червоний. Тоді оператор натискає кнопку «Minimum», шпindel з підшипником при цьому обертається з частотою 700 об./хв. Якщо параметри підшипника (вібрація та шум) знаходяться в нормі, то на панелі загоряється індикатор зеленого кольору і підшипник транспортується до другої ємкості (рис. 7). Якщо ж ні, то підшипник транспортується до третьої ємкості. Кількість підшипників в кожній з ємкостей відображається на панелі керування оператора.

Проведений розрахунок економічної ефективності системи автоматизації технологічного процесу контролю параметрів деталей підшипників, що проектується, показав, що для її впровадження потрібно придбати технічні засоби автоматизації вартістю 62420,58 грн., окрім цього капітальні затрати на автоматизацію та монтаж елементів автоматизованої системи керування становлять 112357,04 грн.

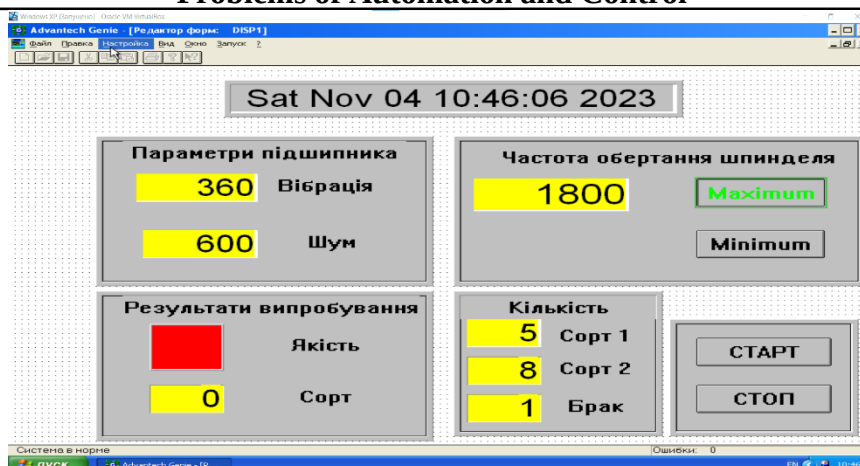


Рисунок 6 – Випробування деталей підшипника на максимальних обертах шпинделя випробувальної установки

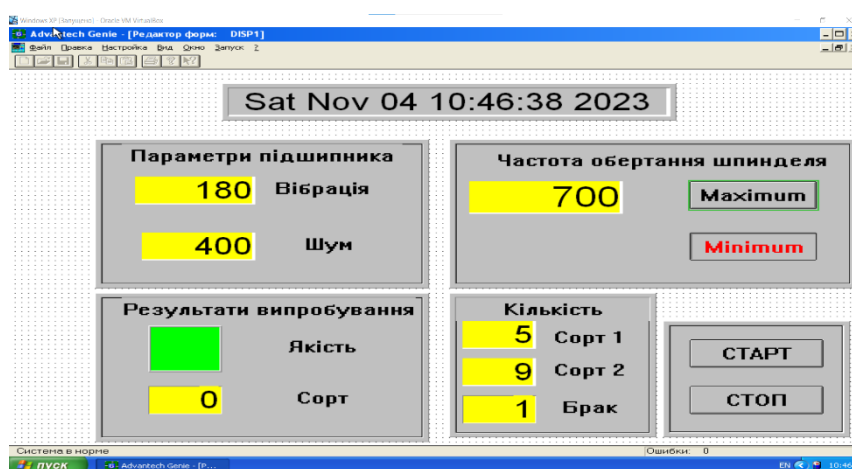


Рисунок 7 – Випробування деталей підшипника на мінімальних обертах шпинделя випробувальної установки

Висновки: Модернізація та реалізація розробленої автоматизованої системи контролю параметрів деталей підшипників, дозволить підвищити точність вимірювання деталей підшипників, а також збільшить надійність функціонування устаткування за рахунок використання нового типу датчика та контрольно-вимірювальних приладів, використання частотного перетворювача дозволить розширити лінійку якості підшипників. Кінцевим результатом модернізації має бути забезпечення високої точності вимірювання та високої продуктивності установки. Розробка може бути використана для автоматизації підприємств України, що орієнтовані на виробництво підшипників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз пошкоджень підшипників – SKF EVOLUTION (irbis.ua) URL: <https://www.irbis.ua/news/novosti-kompaniy-partnerov/stattya-z-zhurnalu-skf-evolution> (дата звернення: 09.10.2023).
2. Міжнародний стандарт ISO 15243:2017, «Підшипники кочення. Ушкодження та відмови. Терміни, характеристики та причини»
3. Брошура SKF 14219, «Ушкодження підшипника та аналіз пошкоджень»
4. Стаття SKF Evolution, The future of bearing failure analysis is here («Майбутнє аналізу пошкоджень підшипників вже тут»), 2022
5. Аналізатори шуму та вібрації | SKF URL: <https://www.skf.com/kz/products/test-measuring-equipment/noise-and-vibration-testers> (дата звернення: 09.10.2023).
6. MVU 150/250A/B | SKF URL: <https://www.skf.com/kz/products/test-measuring-equipment/noise-and-vibration-testers/mvu-150-250ab> (дата звернення: 09.10.2023).

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ

Робота присвячена автоматизації інженерних розрахунків парогенератора на мові Python, зосереджуючись на основних розрахунках парогенератора ПГВ-1000М та використанні автоматизації інженерних розрахунків для ефективного проєктування. Окрім того, досліджено зміни вологості при використанні зануреного дірчастого листа двозонної перфорації.

Ключові слова: Python, автоматизація, інженерні розрахунки, парогенератор, ВВЕР-1000, парогенератор ПГВ-1000М.

The article is devoted to the automation of engineering calculations of the PGV-1000M steam generator, focusing on the basic calculations of the steam generator and the use of automation of engineering calculations for effective design. In addition, changes in humidity were investigated when using a submerged perforated sheet with two-zone perforation.

Keywords: Python, automation, engineering calculations, steam generator, VVER-1000, steam generator PGV-1000M.

Постановка проблеми. Проєктування парогенераторів для енергоблоків ВВЕР-1000 включає велику кількість складних розрахунків, таких як тепловий баланс, теплопередача, течія рідини, аналіз напружень та аналіз безпеки. Виконання цих розрахунків вручну потребує великої кількості часу та зусиль, тоді як автоматизація цих розрахунків може значно скоротити час і зусилля, необхідні для їх виконання.

Крім того, виконання розрахунків вручну може призвести до помилок, які вплинуть на результати, а автоматизація інженерних розрахунків підвищить точність результатів, виконуючи розрахунки з використанням послідовного набору вхідних даних і параметрів.

Також автоматизація інженерних розрахунків може підвищити ефективність процесу проєктування, адже інженерам необхідно оцінювати багато варіантів проєктування та визначати найкраще проєктне рішення, що може зайняти багато часу та зусиль. Автоматизація розрахунків може значно скоротити цей процес та зменшити його трудомісткість. Наприклад, програмне забезпечення може розрахувати багато варіантів проєктування за короткий проміжок часу, зберігаючи інформацію про кожен з них. Інженер може знайти найкраще проєктне рішення, використовуючи результати розрахунків, зроблені програмою.

Автоматизація розрахунку парогенератора для енергоблоків з реактором ВВЕР-1000 полягає в тому, що цей процес є важливою складовою проєктування і може забрати багато часу та зусиль, особливо при обробці великих обсягів даних і складній геометрії. Автоматизація розрахунків дозволяє виконати розрахунки швидко та точно і зменшити ризик помилок. Крім того, програмне забезпечення може бути налаштоване на оптимізацію розташування труб з різних проєктних критеріїв і надавати результати у графічному форматі для легшого інтерпретування та виявлення проблем. Така автоматизація також дозволяє швидко оцінити різні варіанти проєктування та визначити найкраще проєктне рішення на основі варіативності розрахунків.

Метою дослідження є автоматизація розрахунку парогенератора для енергоблоків з реактором ВВЕР-1000 з метою підвищення ефективності роботи і зменшення часу, необхідного для розрахунку конструкції парогенератора.

Аналіз досліджень. Енергоблок ВВЕР-1000 є типовим представником реакторів з водою під тиском (PWR – Pressurized Water Reactor). Ця типова конструкція використовується в багатьох ядерних електростанціях по всьому світу.

Енергоблок ВВЕР-1000 використовується для виробництва електроенергії шляхом контрольованого ядерного розпаду, де вода під високим тиском виступає як теплоносіє, передаючи тепло від ядерного палива до парогенератора, а подальше перетворення енергії пари використовується для приводу турбіни і генерування електричної енергії [1, 2].

Важливо відзначити, що кожен компонент енергоблоку ВВЕР-1000 спроектований і виготовлений відповідно до стандартів безпеки і надійності, а компоненти підлягають регулярним перевіркам і технічному обслуговуванню та ремонту, щоб забезпечити їх належну роботу протягом тривалого часу [3, 4]. Енергоблок ВВЕР-1000 спроектований як безпечне та надійне джерело

електроенергії. Конструкція включає в себе різноманітні заходи для забезпечення безпечної експлуатації реактора. Основні аспекти безпеки включають багатократне резервування систем, пасивні системи безпеки та здатність охолоджувати активну зону навіть у разі аварії з втратою теплоносія.

Міжнародні організації, такі як Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ), відіграють важливу роль у встановленні стандартів безпеки та наданні рекомендацій щодо безпечної експлуатації атомних електростанцій, в тому числі енергоблоків ВВЕР-1000. Ці стандарти охоплюють різні аспекти проектування, експлуатації, аварійної готовності, радіаційного захисту та поводження з відходами.

Крім того, національні регулюючі органи, такі як органи ядерного регулювання, здійснюють нагляд за відповідністю енергоблоків ВВЕР-1000 нормам і керівним принципам безпеки, специфічним для країни, де розташовані станції. Вони проводять регулярні інспекції, оцінки та аудити, щоб гарантувати, що енергоблоки відповідають необхідним стандартам безпеки та працюють у безпечний спосіб.

Парогенератор є критично важливим компонентом енергоблоку, оскільки розділяє обидва контури і відповідає за передачу тепла та генерування пари, яка використовується для виробництва електроенергії.

Автоматизація розрахунку парогенератора є важливим етапом в проектуванні енергоблоків ВВЕР-1000, що дозволяє підвищити ефективність та точність проектування, а також зменшити витрати на виробництво та підвищити якість роботи енергоблоків.

Проектування парогенератора ПГВ-1000М передбачає виконання низки складних розрахунків. Існує кілька основних розрахунків, які зазвичай виконуються при проектуванні або аналізі парогенератора для енергоблоку ВВЕР-1000 [5, 6].

1. Розрахунок теплового балансу. Розрахунок теплового балансу є важливим етапом у проектуванні та аналізі парогенератора. Цей розрахунок використовується для визначення кількості тепла, яке передається від ядерного палива до теплоносія, і кількості тепла, яке передається від теплоносія до пари.

2. Розрахунок теплопередачі. Використовується для визначення коефіцієнта теплопередачі між теплоносієм і паром, який необхідний для проектування труб теплообмінника, що входять до складу парогенератора.

3. Розрахунок потоку рідини. Використовується для визначення швидкості потоку теплоносія і пари через парогенератор, а також перепаду тиску на парогенераторі.

4. Розрахунок розташування труб. Розрахунок трубної схеми є важливим аспектом проектування парогенератора для енергоблоку ВВЕР-1000. Розрахунок використовується для визначення кількості і розташування труб в парогенераторі, що має вирішальне значення для досягнення необхідної площі теплообміну і швидкості потоку теплоносія. Розрахунок враховує такі фактори, як бажана площа теплообміну, витрата теплоносія, температура теплоносія, тиск пари і відстань між трубами. Розташування труб має бути оптимізоване для забезпечення ефективної теплопередачі та мінімізації перепаду тиску в парогенераторі. Відстань і розташування труб також впливає на структурну цілісність парогенератора і запас міцності під час перехідних процесів і аварій.

5. Термодинамічний розрахунок. Цей розрахунок використовується для визначення термодинамічних властивостей теплоносія і пари, таких як температура, тиск і ентальпія.

6. Аналіз напружень. Використовується для визначення напружень і деформацій, які виникають в парогенераторі внаслідок теплового розширення і тиску. Розрахунок враховує такі фактори, як тиск теплоносія і пари, товщину стінок труб і властивості матеріалу, з якого вони виготовлені.

7. Аналіз безпеки. Цей розрахунок використовується для оцінки безпеки парогенератора при різних аварійних ситуаціях, таких як аварія з втратою теплоносія (LOCA).

Ці розрахунки необхідні для того, щоб гарантувати, що парогенератор спроектований і експлуатується безпечно, ефективно і згідно з відповідними нормами і стандартами.

У процесі роботи інженеру доводиться виконувати великий обсяг математичних розрахунків, опрацьовувати дані, отримані під час експериментів і випробувань, створювати велику кількість креслень, готувати й оформляти нормативно-технічну документацію.

Автоматизувавши повторювані або трудомісткі завдання, інженери можуть значно підвищити продуктивність. Це включає використання програмних інструментів або скриптів для автоматизації

розрахунків, обробки даних і створення звітів. Наприклад, використання мов програмування, таких як Python або MATLAB, може спростити складні обчислення та процеси аналізу даних.

Використання автоматизації в інженерному проєктуванні може забезпечити багато переваг, включаючи підвищення ефективності, точності та інновацій. Однак важливо зазначити, що автоматизацію не слід розглядати як заміну людського досвіду і суджень. Скоріше, її слід розглядати як інструмент, що допомагає інженерам виконувати свою роботу більш ефективно і результативно.

Вибір правильних алгоритмів має вирішальне значення для ефективної та точної автоматизації інженерних завдань. Інженери повинні добре розуміти проблему, що стоїть перед ними, і вміти вибирати відповідні алгоритми або чисельні методи. Алгоритми можуть включати чисельні методи, методи оптимізації, алгоритми машинного навчання або алгоритми обробки зображень, залежно від конкретного завдання.

Вибір відповідного програмного забезпечення має важливе значення для автоматизації інженерної роботи. Знайомство зі стандартним програмним забезпеченням і вміння використовувати його можливості може значно підвищити ефективність.

Сучасний рівень автоматизації інженерних розрахунків за допомогою мов програмування є досить високим. Існує багато програмних пакетів, які використовують мови програмування для автоматизації широкого спектру розрахунків, від базових математичних операцій до складного моделювання та аналізу.

Останніми роками все більшої популярності набуває використання скриптових мов, таких як Python, MATLAB та R. Ці мови прості у вивченні, мають великі бібліотеки готового коду і добре підходять для аналізу та візуалізації даних. Крім того, розроблено і широко використовується багато бібліотек з відкритим вихідним кодом, таких як NumPy і SciPy для наукових обчислень на Python [7].

Python – це потужна та універсальна мова програмування, яка добре підходить для автоматизації інженерних розрахунків, вона проста у вивченні та використанні, має велику стандартну бібліотеку та широкий спектр бібліотек і фреймворків, її можна використовувати для широкого кола інженерних завдань, вона універсальна та може бути інтегрована з іншими інструментами та мовами. Це робить її чудовим вибором для інженерів, які хочуть автоматизувати свої розрахунки та моделювання, а також для інженерів, які хочуть інтегрувати її з іншими інструментами.

Перспективи автоматизації інженерних розрахунків за допомогою мов програмування є досить багатообіцяючі, оскільки технології продовжують розвиватися, розробляються нові методи і підходи. Очікується, що використання моделювання, аналізу та візуалізації даних, а також машинного навчання та штучного інтелекту відіграватиме дедалі важливішу роль у майбутньому, що сприятиме подальшому підвищенню ефективності та точності інженерних розрахунків.

Основна частина. Для розрахунку сепарації в горизонтальному парогенераторі насиченого пару розроблено скрипт, який включає конструкційний розрахунок парогенератора та розрахунок ефективності гравітаційної сепарації.

Конструкційний розрахунок парогенератора містить тепловий розрахунок для визначення площі теплообмінної поверхні та розмірів внутрішніх пристроїв парогенератора [8].

Розрахунок ефективності гравітаційної сепарації містить варіантний розрахунок дірчатого листа з різним рівнем перфорації та визначення ефективності осаджувальної сепарації та залежності зміни вологості на виході з парогенератора від параметрів дірчатого листа.

Методика розрахунку дірчатого листа та гравітаційної сепарації базується на [9]. Алгоритм розрахунку парогенератора наведено на рисунку 1.

Розіб'ємо автоматизацію розрахунку парогенератора (ПГ) на ряд етапів.



Рисунок 1 – Алгоритм розрахунку парогенератора

Перший етап. На першому етапі проводиться тепловий розрахунок для парогенератора.

У вхідних даних задається ряд параметрів, що впливають на характеристики ПГ – паропродуктивність, зовнішній і внутрішній діаметри теплообмінних трубок, крок пучка труб за висотою і шириною, тиск теплоносія та температури на вході і виході з ПГ, температура живильної води на вході до ПГ, температура насичення пари в ПГ.

Другий етап. На другому етапі проводиться конструкційний розрахунок парогенератора.

Вхідні дані включають швидкість теплоносія в колекторі, витрату пари, зовнішній діаметр труб, номінальну допустиму напругу для матеріалу труб та розрахунковий тиск.

Третій етап включає розрахунок вологості при стандартній перфорації зануреного дірчастого листа (ЗДЛ) та рівномірному навантаженні дзеркала випаровування.

Четвертий етап. На четвертому етапі проводиться визначення вологості при стандартній перфорації здвоєного дзеркала випаровування з інерційним навантаженням.

П'ятий етап. На п'ятому етапі виконується розрахунок параметрів системи з двозонною перфорацією, включаючи обсяг води, який необхідно нагріти і кількість води, яку необхідно нагріти на задану температуру.

Для автоматизації розрахунку розроблено скрипт.

Для перевірки правильності роботи програми виконано тепловий розрахунок парогенератора вручну. Похибка розрахунків становить 2,7%, що свідчить про правильність розробленого коду.

Також проведено дослідження впливу двозонної перфорації зануреного дірчастого листа (ЗДЛ) на вологість. Отримана різниця між паропроductивностями на гарячій і холодній частинах ЗДЛ при збільшенні різниці діаметрів перфорації та виконано порівняння вологості за різних ЗДЛ.

Для проведення даного дослідження використано скрипт, розроблений для автоматизації розрахунку парогенератора. Його використано для отримання базових даних та доповнено різними кроками між діаметрами. Методика розрахунку наведена у [9].

Основна мета коду – візуалізація залежності вологості від різниці діаметрів отворів, різниці між паропроductивностями на гарячій і холодній частинах ЗДЛ при збільшенні різниці діаметрів та порівняння вологості за різних ЗДЛ.

Графік залежності вологості від різниці діаметрів отворів перфорації приведений на рисунку 2.

Цей графік використовує триколірну лінію, щоб показати залежність вологості від різниці діаметрів отворів перфорації ЗДЛ. На графіку є три лінії – для середньої вологості (Y_{sr}), вологості у гарячій зоні (Y_{gar}) та вологості у холодній зоні (Y_{hol}).

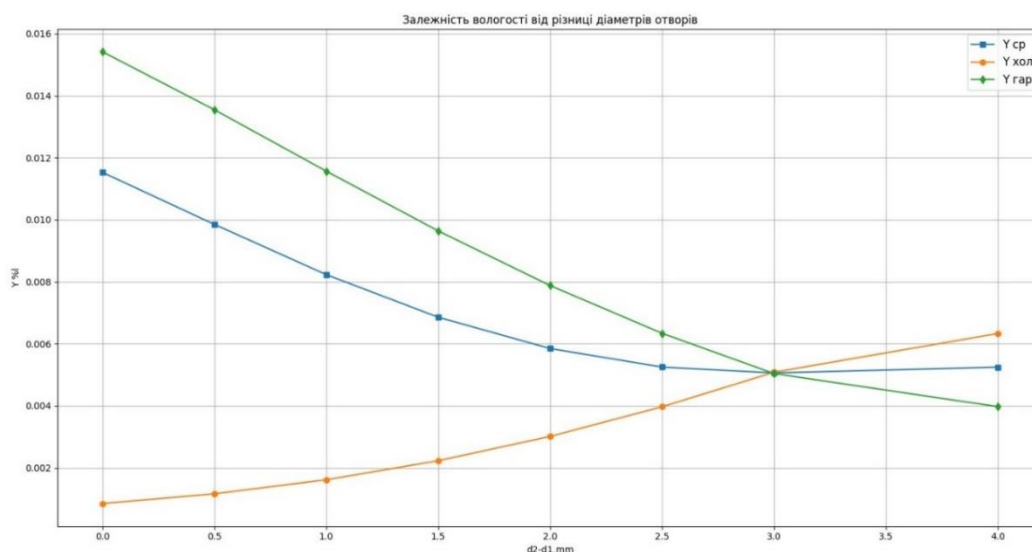


Рисунок 2 – Залежність вологості від різниці діаметрів отворів перфорації

Зі збільшенням різниці діаметрів отворів перфорації середня вологість на гарячій стороні зменшується, а на холодній стороні збільшується.

Середня вологість на гарячій стороні значно вища, ніж на холодній стороні. Це пов'язано з тим, що гаряча сторона є джерелом тепла, яке спричиняє випаровування вологи, тоді як холодна сторона є місцем, де ця волога конденсується.

При різниці діаметрів отворів перфорації, рівній 3 мм, графіки перетинаються, що говорить про оптимальну різницю діаметрів.

Графік залежності між різницею діаметрів гарячої та холодної частин зануреного дірчастого листа (ЗДЛ) і різницею паропроductивності на цих частинах приведений на рисунку 3.

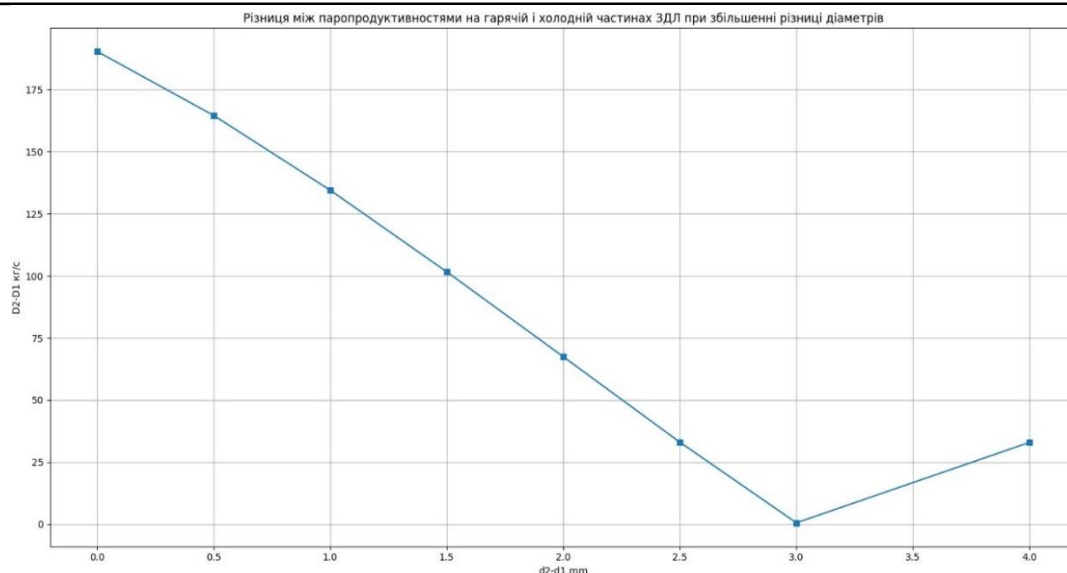


Рисунок 3 – Різниця між паропроductивностями на гарячій і холодній частинах ЗДЛ при збільшенні різниці діаметрів отворів перфорації

При збільшенні різниці діаметрів отворів перфорації різниця між паропроductивностями зменшується і досягає свого мінімуму при різниці, що дорівнює 3 мм. Далі при збільшенні різниці діаметрів отворів перфорації різниця між паропроductивностями росте.

Графік порівняння вологості для двох типів ЗДЛ: зі стандартною перфорацією та двозонним ЗДЛ, приведений на рисунку 4.

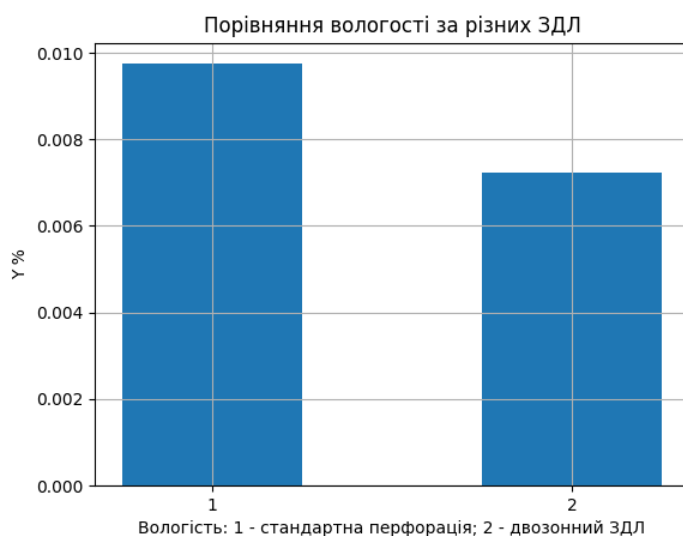


Рисунок 4 – Порівняння вологості за різних варіантів зануреного дірчастого листа

З рисунка 4 можна зробити висновок, що двозонний перфорований лист має нижчий рівень вологості порівняно зі стандартним перфорованим листом (рівень вологості стандартного перфорованого листа приблизно в 1,35 рази вищий, ніж рівень вологості двозонного перфорованого листа). Тому двозонний перфорований лист може бути кращим вибором.

Розглянемо наступний варіант – однакові кроки між діаметрами:

$d1\_ = [12, 12.2, 12.4, 12.6, 12.8, 13, 13.2, 13.4]$

$d2\_ = [13, 13.2, 13.4, 13.6, 13.8, 14, 14.2, 14.4]$

Провівши розрахунки, отримаємо (рис. 5):

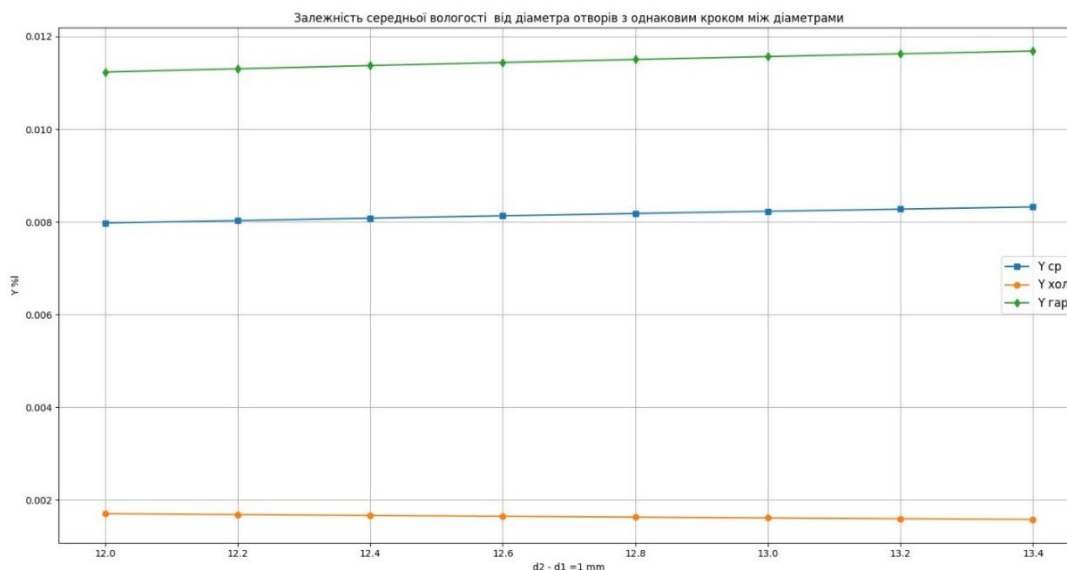


Рисунок 5 – Залежність середньої вологості від діаметра отворів перфорації з однаковим кроком між діаметрами

Як видно з рисунка 5, паропроодуктивність на гарячій стороні значно вища (приблизно у 7 разів) порівняно з холодною стороною.

Різниця у середній вологості на гарячій стороні між кроками між діаметрами не є значною, що може означати, що цей параметр не дуже залежить від відстані між діаметрами отворів перфорації.

Різниця у середній вологості на холодній стороні між кроками між діаметрами також не є значною, що може свідчити про те, що цей параметр також не дуже залежить від відстані між діаметрами отворів перфорації.

Висновок. Виконано дослідження енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 та парогенератора ПГВ-1000М, зосереджуючись на основних розрахунках парогенератора та використанні автоматизації інженерних розрахунків для ефективного проєктування. Показано, що автоматизовані інженерні розрахунки дозволяють ефективно виконувати розрахунки та перевірки, зменшуючи час та ризики помилок в процесі проєктування. Розглянуто процес проєктування парогенератора за допомогою автоматизованого інженерного розрахунку, використовуючи мови програмування, зокрема Python.

Розроблено скрипт для автоматизованого розрахунку залежності вологості від різниці діаметрів отворів перфорації; залежності між різницею діаметрів гарячої та холодної частин зануреного дірчастого листа; різницею паропроодуктивності на гарячій і холодній частинах зануреного дірчастого листа. Розроблено скрипт для автоматизованого розрахунку вологості при використанні зануреного дірчастого листа двозонної перфорації.

На базі отриманого скрипта проведено варіантні розрахунки. Виконана візуалізація залежності вологості від різниці діаметрів отворів перфорації, різниці між паропроодуктивностями на гарячій і холодній частинах зануреного дірчастого листа при збільшенні різниці діаметрів отворів перфорації та порівняння вологості за різних зануреного дірчастого листа.

З отриманих результатів можна зробити висновок про оптимальну різницю діаметрів отворів перфорації зануреного дірчастого листа та використання двозонного перфорованого листа для зменшення середньої вологості на гарячій стороні парогенератора та збільшення на холодній, що може бути важливим при контролі рівня вологості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атомні електростанції: навч. посібник / В.М. Зорин. Київ: Знання, 2019. 672 с.
2. Атомні електростанції: навч. посібник / А.М. Антонова, А.В. Воробйов. Львів: Львівська політехніка, 2019. 230 с.
3. Рівненська АЕС в енергетиці України. Просто про складне. Рівне: ОП «Рівненська АЕС». Навчально-тренувальний центр, 2020. 251 с.

4. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій: Наказ Державного комітету ядерного регулювання України від 19.11.2007 № 162.

5. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі / О. В. Єфімов, М. М. Пилипенко, Т. В. Потаніна та ін. ; за ред. О.В. Єфімова. Харків : ТОВ «В справі», 2019. 420 с.

6. Теплові і атомні електричні станції: довідник / під заг. ред. В.А. Григор'єва, В.М. Зоріна. 2-е вид., перероб. Київ: Енергоатомвидав, 2020. 608 с.

7. Rakesh Kumar. Future for scientific computing using Python. *International journal of engineering technologies and management research*. Vol.2 (Iss.1), 2019. pp. 30-41.

8. Россохін Н.Г. Парогенераторні установки атомних електростанцій. Підручник для вузів. Вид. 2-е. Київ: Енергоатомвидав, 2019. 360 с.

Сепараційні пристрої АЕС / А.Г. Агєєв, В.Б. Карасєв, И.Т. Серов, В.Ф. Титов. Київ: Енергоатомвидав, 2020. 169 с.

УДК 004.4: 681.5

Я.М. Скібчик, Л.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗАЦІЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ВІТРОВИХ ТУРБІН

Робота присвячена автоматизації аналізу роботи вітрових турбін на основі даних Scada системи з метою підвищення їх ефективності та надійності, розробці програмного забезпечення для автоматизації аналізу роботи вітрогенераторів. Основна увага приділяється показникам, що впливають на роботу системи, таким, як швидкість вітру, напрям вітру та питанням забезпечення надійності роботи вітрогенераторів, що дозволяє запобігти серйозним випадкам відмов та збільшити термін служби систем..

Ключові слова: Python, вітрова турбіна, потужність, аналіз, автоматизація.

The article is dedicated to the automation of the analysis of the operation of wind turbines based on the data of the Scada system in order to increase their efficiency and reliability, the development of software for the automation of the analysis of the operation of wind generators. The main attention is paid to indicators that affect the operation of the system, such as wind speed, wind direction and issues of ensuring the reliability of the operation of wind generators, which allows to prevent serious cases of failures and increase the service life of the systems.

Keywords: Python, wind turbine, power, analysis, automation.

Постановка проблеми. Високі технічні вимоги та економічні вигоди, які приводять до збільшення кількості вітроелектростанцій в усьому світі, змушують власників та операторів станцій шукати шляхи підвищення ефективності роботи турбін.

Автоматизація аналізу роботи вітрових турбін дозволяє підвищити точність визначення причин відмов, а також розробку стратегій оптимізації роботи турбін. Автоматизація може допомогти скоротити час простою завдяки використанню методів прогнозування технічного обслуговування, які дозволяють передбачити, коли компонент може вийти з ладу, і запланувати технічне обслуговування до того, як він вийде з ладу. Це може допомогти запобігти несподіваним зупинкам і звести до мінімуму час, протягом якого турбіна не працює.

Крім того, автоматизація аналізу також може допомогти підвищити загальну ефективність роботи вітроелектростанції. Використовуючи дані для оптимізації роботи турбіни, автоматизація може допомогти збільшити вихід енергії з турбіни і підвищити загальну продуктивність вітроелектростанції.

Такий аналіз може допомогти в моніторингу погодних умов, що дозволить вітроелектростанції відповідно коригувати свою роботу, що може призвести до більш ефективного використання вітрових ресурсів і, таким чином, до більш ефективної роботи вітроелектростанції.

Актуальність автоматизації аналізу роботи вітрових турбін полягає в потенційних перевагах, які вона може принести сектору відновлюваної енергетики. Оскільки попит на відновлювану енергію продовжує зростати, вітроенергетика стала ключовим джерелом чистої енергії. Однак,

ефективна та результативна робота вітрових турбін може бути складним завданням через їх складну та динамічну природу.

Автоматизація аналізу роботи вітрових турбін дозволяє більш точно виявляти і діагностувати проблеми з продуктивністю, визначати можливості для оптимізації і, в кінцевому підсумку, підвищувати надійність і ефективність вітроенергетики. Це може призвести до збільшення виробництва енергії, скорочення часу простою і витрат на технічне обслуговування, а також підвищення безпеки для технічного персоналу та операторів.

Таким чином, актуальність автоматизації аналізу роботи вітрових турбін полягає в підвищенні ефективності, надійності та безпеки вітроенергетики.

Метою дослідження є розробка системи автоматизованого аналізу роботи вітрових турбін з метою підвищення їх ефективності та надійності.

Аналіз існуючих досліджень. Станом на 2022 рік вітроенергетика є одним з найбільш швидкозростаючих джерел відновлюваної енергії у світі. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), у 2020 році світова встановлена вітроенергетична потужність досягла 739 ГВт, а загалом протягом року було встановлено 64 ГВт нових потужностей [1].

Кілька країн зробили значні інвестиції у вітроенергетику і мають великі обсяги встановлених потужностей. Китай є світовим лідером у вітроенергетиці із загальною встановленою потужністю понад 220 ГВт. Сполучені Штати, Німеччина та Індія також є основними гравцями у вітроенергетичній галузі зі встановленими потужностями понад 100 ГВт кожна [2].

Морська вітроенергетика також набуває все більшої популярності, загальна встановлена потужність якої у 2020 році досягла 29 ГВт. Європа має найбільші морські вітроенергетичні потужності, серед яких лідирують Великобританія та Данія [3].

Варто зазначити, що, за даними Глобальної вітроенергетичної ради (GWEC), вітроенергетичний сектор очікує значне зростання в найближчі роки, прогнозуючи, що світова встановлена потужність вітроенергетики повинна досягти 1 000 ГВт до 2024 року і 2 000 ГВт до 2030 року [4].

Станом на 2021 рік Україна має відносно невелику встановлену потужність вітроенергетики порівняно з іншими країнами. За даними Глобальної вітроенергетичної ради (GWEC), у 2021 році встановлена вітроенергетична потужність України становила близько 1,2 ГВт. Однак уряд України поставив перед собою амбітні цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики, в тому числі вітроенергетики. Країна поставила собі за мету збільшити частку відновлюваної енергетики до 11% до 2035 року і щонайменше до 20% до 2040 року. Для досягнення цієї мети уряд запровадив низку політик та стимулів для підтримки розвитку відновлюваної енергетики, в тому числі вітроенергетики [5].

Незважаючи на невеликий розмір вітроенергетичного сектору в Україні, він має значний потенціал для подальшого розвитку, особливо в західних і південних регіонах, де вітрові ресурси є багатими.

Вітроенергетика може допомогти диверсифікувати енергетичний мікс Європи, зменшивши залежність від викопних видів палива і, зокрема, від російського газу. Розвиток вітроенергетики також може допомогти Європі досягти своїх цілей щодо зміни клімату, оскільки вона є чистим джерелом енергії, яке не виробляє викидів.

Історія розвитку методів і алгоритмів автоматизації аналізу роботи вітроенергетичних установок розвивалася протягом останніх кількох десятиліть.

У 2000-х роках в системах керування вітрогенераторами почали застосовувати вдосконалені алгоритми керування, такі як модельне прогнозування. Ці алгоритми використовують моделі вітротурбінної системи для прогнозування майбутньої продуктивності та оптимізації стратегій управління в режимі реального часу [6].

Прогнозоване обслуговування і виявлення несправностей також набирають обертів в області автоматизації аналізу роботи вітротурбін, використання передових методів, таких як моніторинг стану, аналіз вібрації та інших методів на основі датчиків, може забезпечити раннє попередження про потенційні проблеми і уникнути дорогих простоїв [7].

Поточний рівень автоматизації аналізу вітрових турбін варіюється залежно від конкретного завдання або застосування [8]. Деякі області аналізу вітрових турбін, такі як моніторинг і контроль, профілактичне обслуговування і виявлення несправностей є повністю або частково автоматизованими, в той час як інші, такі як моделювання продуктивності, управління даними і візуалізація, все ще знаходяться на ранніх стадіях розвитку. Незважаючи на певний прогрес в

автоматизації аналізу вітрових турбін, залишається багато проблем, і для повної реалізації потенціалу автоматизації в цій галузі необхідні подальші дослідження і розробки.

Загалом, автоматизація аналізу роботи вітрових турбін має потенціал для значного підвищення ефективності, продуктивності та надійності вітрових турбін. Однак вона також пов'язана з низкою проблем і труднощів, таких як якість даних з датчиків, складна динаміка турбіни, мінливість навколишнього середовища, зберігання та управління даними, обчислювальні ресурси та кібербезпека.

Один з підходів до використання Python для аналізу роботи вітрових турбін полягає у використанні таких бібліотек, як NumPy та Pandas, для обробки та аналізу даних з давачів на вітровій турбіні. Дані, зібрані з давачів, зазвичай включають таку інформацію, як швидкість вітру, вихідна потужність і температура. Огляд літератури про використання Python для аналізу роботи вітрових турбін передбачає розгляд існуючих досліджень і публікацій на цю тему [9-10].

Інший підхід полягає у використанні Python для моделювання та імітації динаміки вітрових турбін, наприклад, як турбіна реагує на зміну швидкості та напрямку вітру. Цей підхід передбачає використання математичних моделей для опису поведінки вітрової турбіни та її компонентів, а потім використання інструментів симуляції для вивчення реакції турбіни на зміну швидкості та напрямку вітру [11-12].

Таким чином, потужні можливості чисельних обчислень, гнучкість і наявність бібліотек для моделювання та імітації зробили Python популярним вибором для досліджень вітрових турбін. Крім того, Python можна використовувати для створення візуалізацій та інформаційних панелей, які допомагають інженерам і операторам зрозуміти продуктивність вітрової турбіни.

Основна частина. У вітрових турбінах системи Scada вимірюють і зберігають такі дані, як швидкість вітру, напрямок вітру, вироблена потужність і т.д. протягом 10-хвилинних інтервалів. Літературний пошук дав лише один результат – це файл з даними з системи Scada вітрової турбіни, яка працює і виробляє електроенергію в Туреччині [13].

У файлі містяться такі дані:

- дата / час (для 10-хвилинних інтервалів);
- активна потужність низької напруги (кВт);
- швидкість вітру (м/с);
- теоретична крива потужності (кВт-год);
- напрямок вітру (°).

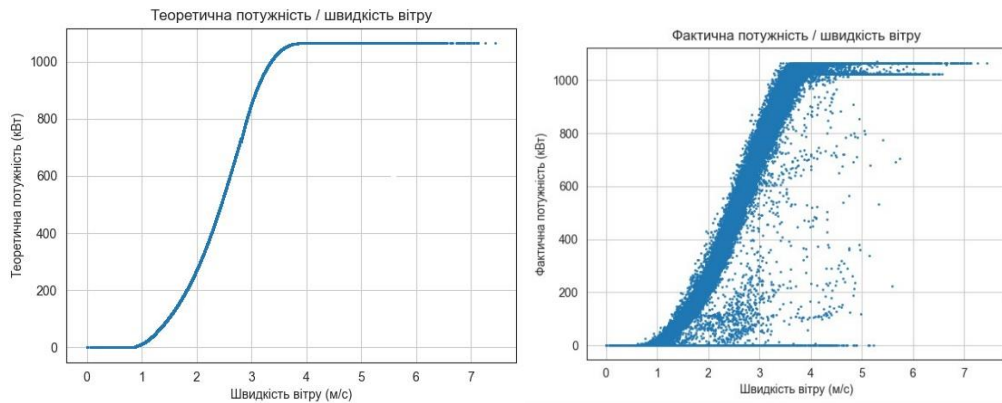
Аналіз даних з файлу показав що ні швидкість вітру, ні напрямки рози вітрів не відповідає даним по Волинській області.

Після аналізу вихідних даних було згенеровано дані, які відповідають умовам Волинської області [14]. Для отримання даних використано Глобальний вітровий атлас [15] – це онлайн-платформа, яка надає доступ до вичерпних даних про вітрові ресурси та інструменти для аналізу вітроенергетичного потенціалу в глобальному масштабі.

Вихідні дані для аналізу збережено у файлі Scada_data.db формату SQLite. Всього в базі 50530 записів, кожен з яких охоплює різні параметри, що мають відношення до роботи вітротурбіни. Ці параметри включають дату / час, активну потужність, швидкість вітру, теоретичну криву потужності та напрямки вітру.

Створено дві діаграми розсіювання для порівняння залежностей теоретичної та фактичної потужності від швидкості вітру (рис. 1).

Для побудови діаграм розсіювання використаємо функцію Plot() бібліотеки Matplotlib.



а) б)
Рисунок 1 – а) теоретична потужність – швидкість вітру; б) фактична потужність – швидкість вітру

Візуальний аналіз показує:

- існує чіткий "нормальний" робочий діапазон, в якому знаходиться більшість даних, і який відповідає формі усіченої логістичної кривої;
- існує дві окремі верхні межі потужності, одна приблизно на рівні $\sim 1\ 200$ кВт, а інша приблизно на рівні $\sim 1\ 000$ кВт;
- існує багато точок з нульовою потужністю навіть при високих швидкостях вітру (припускаємо, що це пов'язано з експлуатаційними рішеннями, і будемо їх ігнорувати);
- існує менша сукупність даних з виробленням електроенергії значно нижче "нормального" робочого діапазону (будемо шукати можливі пояснення, крім експлуатаційних рішень, перш ніж ігнорувати ці дані).

Визначаємо логістичну функцію для моделювання зв'язку між швидкістю вітру та вихідною потужністю.

Оцифровуючи верхню та нижню межі потужності наведеного вище графіка, підбираємо усічені логістичні функції і отримуємо фактичну потужність залежно від швидкості вітру з верхньою та нижньою межами роботи.

Обчислюємо частку робочої потужності (0 – нижня межа, 1 – верхня межа) і виключаємо всі дані, менші, ніж мінімальний конверт потужності для підгонки.

Результат:

- загальні дані: 50530 точок;
- дані про операційний простір: 47310 точки (93,6 %).

Будуємо залежність фактичної потужності від швидкості вітру з розподілом за групами (рис.

2).

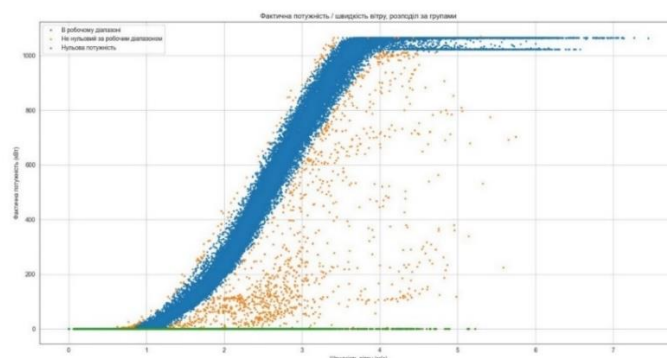


Рисунок 2 – Залежність фактичної потужності від швидкості вітру з розподілом за групами

На діаграмі розсіювання явно виділяється робочий діапазон вітрогенератора, нульова потужність та ненульові дані за робочим діапазоном.

Знайдемо усереднену потужність і розглянемо її по годинах, днях, тижнях та місяцях. Створюємо годинний, щоденний, тижневий, місячний фрейм даних з усередненням – рисунок 3.

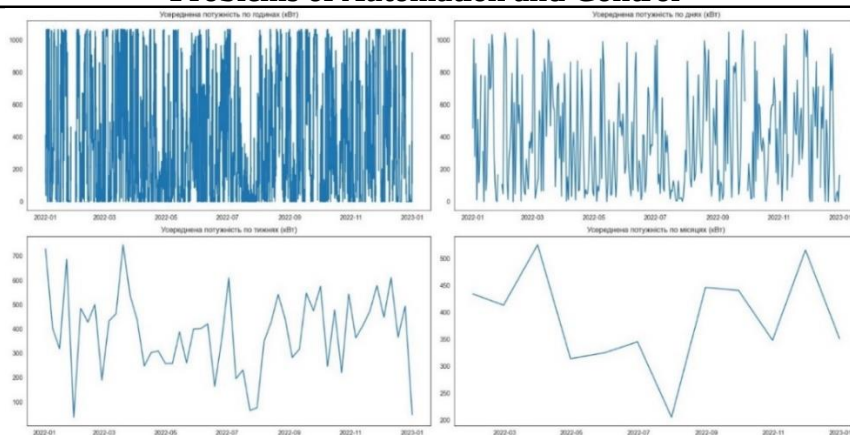


Рисунок 3 – Усереднені потужності по годинах, днях, тижнях та місяцях

З приведених графіків видно, що потужність вітрогенератора падала в липні, серпні 2022 року.

Визначимо також щоденні та щотижневі втрати (різниця між теоретичною і фактичною потужністю).

Найбільші втрати зафіксовані в січні 2022 року. Бували періоди протягом року, коли турбіна зазнавала великої втрати потужності. Розглянемо це детальніше.

Проведемо аналіз втрат потужності без технічного обслуговування. Для цього створюємо фрейм даних, в який не включено час технічного обслуговування.

При швидкості 12–14 км/год (3,0–3,8 м/с) вітрова турбіна починає виробляти електроенергію. Якщо швидкість вітру перевищує 3,0 м/с, а вихідна потужність дорівнює нулю, вважаємо, що турбіна знаходиться на техобслуговуванні. Максимальна швидкість вітру 7,45 м/с.

Для прикладу виведемо втрати потужності при швидкості вітру більше 3 м/с, а фактична потужність 0 кВт для червня 2022 року – рисунок 4.

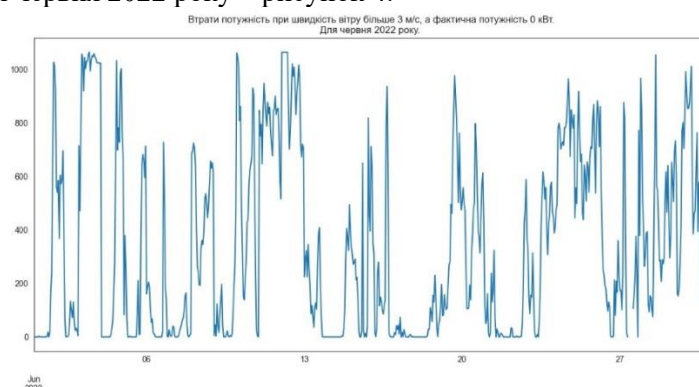


Рисунок 4 – Втрати потужності при швидкості вітру більше 3 м/с, а фактична потужність 0 кВт для червня 2022 року

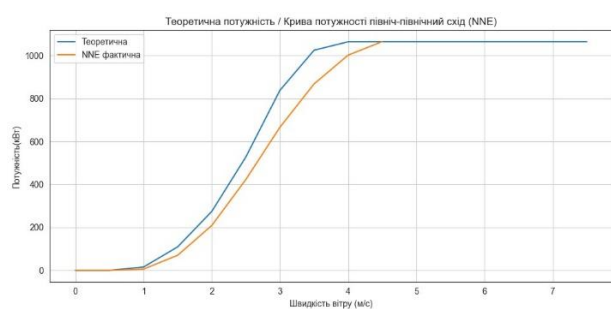
Розглянемо залежність потужності від напрямку вітру.

Потім побудуємо графіки середньомісячного та середньотижневого виробництва електроенергії з двох різних фреймів даних – рисунок 5.

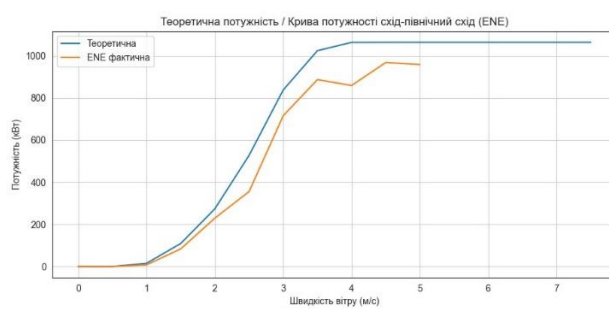


Рисунок 5 – Середньомісячне та середньотижневе виробництво електроенергії

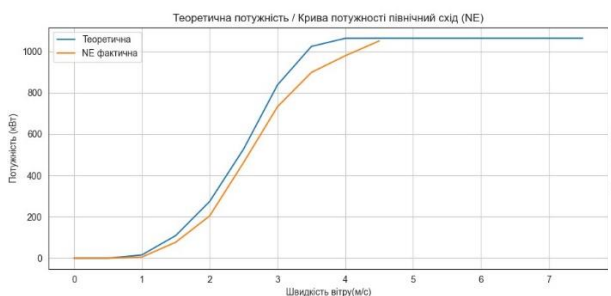
Створюємо окремі графіки для кожної підгрупи, кожен з яких показує теоретичну криву потужності та фактичну криву потужності для відповідного напрямку вітру – рисунок 6.



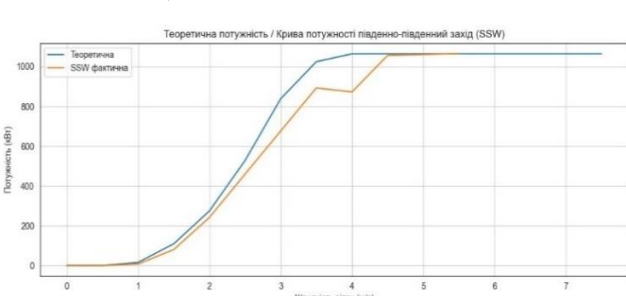
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6 – Теоретична крива потужності та фактична крива потужності для відповідного напрямку вітру: а) напрямок NNE, б) напрямок ENE, в) напрямок NE, г) напрямок SSW

Нарешті, створюємо графік, який показує теоретичну криву потужності та фактичну криву потужності для всіх напрямків вітру – рисунок 7.

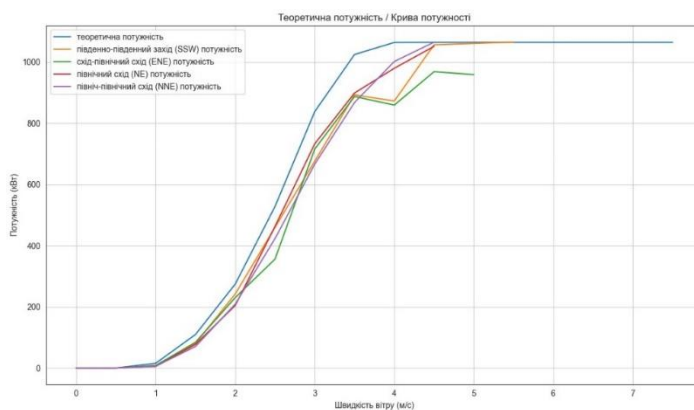


Рисунок 7 – Залежність між швидкістю вітру та вихідною потужністю для кожного напрямку

З графіка видно, що при швидкості вітру 4 м/с в напрямках схід-північний схід (ENE) та південно-південний захід (SSW) потужність вітрогенератора зменшувалась до 860 та 875 кВт відповідно.

Висновок. Після аналізу початкових даних були згенеровані дані, які відповідають умовам Волинської області. Отримані результати показують, що існує чіткий "нормальний" робочий діапазон, в якому зосереджена більшість даних. Цей діапазон відповідає формі усіченої логістичної кривої, що може свідчити про наявність оптимальної швидкості вітру для ефективного вироблення електроенергії.

Отримано інформацію про швидкість вітру, при якій вітрова турбіна починає виробляти електроенергію – від 12 до 14 км/год (3,0 – 3,8 м/с). Якщо швидкість вітру перевищує 3,0 м/с, а вихідна потужність дорівнює нулю, це означає, що турбіна перебуває на технічному обслуговуванні або вимкнена. Максимальна зафіксована швидкість вітру становила 7,45 м/с.

Ці дані допомагають розуміти динаміку роботи вітрогенератора і виявити часові періоди зі зниженою ефективністю або можливими проблемами, що потребують уваги і вирішення.

Отже, система автоматизованого аналізу роботи вітрових турбін дозволяє ефективно виявляти проблеми та тенденції у роботі турбін, що може допомогти підвищити їх ефективність та надійність, а також зменшити знос.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wind. URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/wind> (Дата звернення: 14.03.2023).
2. WWEA Half-year Report 2022: Worldwide Windpower Boom Continues in 2022. URL: <https://wwindea.org/worldwide-windpower-boom-continues-in-2022/> (Дата звернення: 14.03.2023).
3. Global Offshore Wind Report 2022. URL: <https://gwec.net/gwecs-global-offshore-wind-report/> (Дата звернення: 14.03.2023).
4. Global Wind Report 2022. URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/> (Дата звернення: 14.03.2023).
5. ПІІ на глобальному ринку вітроенергетики та потенціал України. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/uk/news/13-07-22-2/> (Дата звернення: 14.03.2023).
6. "Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design" by J.R. Leigh, J. Bontsema, Published by Springer, 2020.
7. "Renewable Energy: Power for a Sustainable Future" by Godfrey Boyle, Published by Oxford University Press, 2021.
8. "Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering" by David A. Spera, Published by ASME Press, 2018.
9. "Development of a simulation model for a wind turbine using Python" by A. Smith, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 52, pp. 123-134, 2019.
10. "Analysis of wind farm data using Python" by B. Jones, International Journal of Sustainable Energy, vol. 34, pp. 78-89, 2020.
11. "Modeling the dynamics of a wind turbine using Python" by A. Smith, Renewable Energy, vol. 52, pp. 123-134, 2020.
12. "Simulation of wind turbine dynamics using Python" by B. Jones, Journal of Solar Energy Engineering, vol. 34, pp. 78-89, 2019.
13. Wind Turbine Scada Dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/berkerisen/wind-turbine-scada-dataset> (Дата звернення: 14.03.2023).
14. Global wind atlas. URL: <https://globalwindatlas.info/ru/area/Ukraine/Volyn> (Дата звернення: 14.03.2023).
15. Pryor, S.C., Barthelmie, R.J. A global assessment of extreme wind speeds for wind energy applications. *Nat Energy* 6, 268–276 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00773-7>

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

У статті викладена актуальність вибору об'єкта дослідження. Визначено найоптимальніші для автоматизації виробничих процесів сучасні комп'ютерні і інформаційні технології та засоби обчислювальної техніки. Висвітлено комп'ютерні технології автоматизації виробничих процесів. А також види ЕОМ і їх застосування під час управління технологічними процесами і підприємством.

Ключові слова: автоматизація, комп'ютер, комп'ютерні технології, управління, технологічний процес, виробничий процес.

L. Yu. Fedik, O. M. Sivakovska. Features of the use of computer technologies during the automation of productive processes. The article outlines the relevance of choosing a research object. Modern computer and information technologies and computer facilities that are optimal for automating production processes have been determined. Computer technologies for automation of production processes are covered. As well as types of computers and their use in managing technological processes and enterprises.

Key words: automation, computer, computer technology, control, technological process, production process.

Постановка проблеми. Світовий досвід і аналіз роботи підприємств показують, що неможливо підвищити якість продукції і знизити витрати на її виробництво без широкого впровадження сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих систем, і відповідно управління обладнанням і технологічними процесами. Оскільки сучасне виробництво базується на створенні надскладних виробів, що потребує високої точності виконання [1-2].

Огляд актуальних досліджень з проблеми. Аналізом застосування комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів займалися такі дослідники, як: Сезонова І.К., Колісник Т.П., Хорошайло Ю.Є. (2011), Бодненко Т.В. (2015), Сергієнко І.В. (2016), Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М., Швед С.М. (2021), Федік Л.Ю., Троянчук Б.В. (2021).

Формування цілей статті (постановка завдання). Особливості автоматизації виробничих процесів і застосування комп'ютерної і обчислювальної техніки під час управління ними.

Виклад матеріалів дослідження. Сучасна АСУТП являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. Створення автоматизованої системи управління складними технологічними процесами здійснюється з використанням автоматичних інформаційних систем збирання даних і обчислювальних комплексів, які постійно, вдосконалюються.

Початковим етапом її розвитку є впровадження систем автоматичного регулювання (САР). Об'єктами управління при цьому є окремі технологічні змінні (параметри), установки, агрегати. САР реалізуються як окремі локальні регулятори, пов'язані з об'єктом через датчики та виконавчі механізми.

На наступному етапі розвитку застосовується автоматизація технологічних процесів. Об'єктом управління стає розосереджена в просторі система. Характерною рисою цього етапу є впровадження систем телемеханіки в управління технологічними процесами.

Після цього була впроваджена автоматизація систем управління технологічними процесами, що характеризується застосуванням у процес управління цими процесами обчислювальної техніки. Спочатку мікропроцесорів, на окремих фазах управління обчислювальних систем, а потім – людино-машинних систем управління, інженерної психології, методів і моделей дослідження операцій і, нарешті, - диспетчерське управління на основі автоматичних інформаційних систем збирання даних і сучасних обчислювальних комплексів.

Варто відмітити, що у багаторівневій автоматизованій системі управління технологічними процесами диспетчер одержує інформацію з монітора ЕОМ або з електронної системи відображення інформації та впливає на об'єкти, що перебувають від нього на значній відстані, за допомогою телекомунікаційних систем, контролерів, інтелектуальних виконавчих механізмів [2].

Сучасне виробництво постійно перебуває в процесі вдосконалення та пристосування до зовнішніх факторів, завдяки широкому впровадженню управляючої мікропроцесорної техніки та комп'ютерно-інтегрованих систем управління. Процес широкого впровадження мікропроцесорної техніки в системи управління харчових виробництв розпочався в середині 80-х років у цукровій та спиртовій промисловості, які вважаються лідерами щодо автоматизації виробництва. Молочне та пивоварне виробництво з початку 90-х років комплектувалося готовими автоматизованими лініями зарубіжного виробництва [3].

Досвід впровадження і експлуатації програмно-технічних комплексів, побудованих на базі мікропроцесорних управляючих пристроїв, насамперед мікропроцесорних контролерів і інтелектуальних засобів розподіленого управління, підтверджує, що альтернативи такому напрямку розвитку немає. Це пояснюється тим, що змінюється сама ідеологія побудови системи управління. На сьогоднішній день є два підходи в побудові таких систем із використанням мікропроцесорної техніки. У першому варіанті центральною частиною системи є мікропроцесорний управляючий пристрій, до якого підключаються датчики та виконавчі механізми. Алгоритм управління об'єктом реалізується програмним шляхом, що створює можливості швидкої адаптації системи управління та її коригування в разі потреби. Другий спосіб – це використання розподілених систем управління, де всі функції оброблення інформації розподіляються між кількома інтелектуальними пристроями, які поєднані між собою промисловими мережами. Якщо раніше під час змін у алгоритмі управління доводилося змінювати технічну структуру системи, то в разі використання мікропроцесорної техніки, це зводиться до змін у програмі управління об'єктом або конфігурації зв'язків між інтелектуальними пристроями. При цьому значно змінюються умови роботи оператора-технолога. Працюючи на автоматизованому робочому місці, створеному на базі ПЕОМ або операторської станції, оператор отримує інформацію про стан об'єкта та системи управління ним у зручному для сприйняття вигляді (як правило, у вигляді кольорових мнемосхем), що сприяє своєчасним і ефективним діям. Крім цього, системи дають можливість аналізувати роботу обладнання або технологічного комплексу за певний час роботи завдяки веденню і зберіганню (за даний проміжок часу) інформації, як передісторії процесу, так і дій оператора, який ним керує. Це дає можливість отримувати об'єктивну і своєчасну інформацію, потрібну для прийняття обґрунтованих управляючих дій, а й знаходити та своєчасно усувати фактори, які негативно впливають на ефективне функціонування об'єкта управління.

Використання всіх можливостей, які надає сучасна мікропроцесорна техніка та комп'ютерно-інтегровані технології, створює реальне підґрунтя для розроблення потужних систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень, практичної реалізації складних алгоритмів управління об'єктом, реалізація яких раніше була просто неможлива чи потребувала застосування досить складних технічних рішень.

Впровадження мікропроцесорної техніки також створює реальні умови для побудови корпоративних систем управління, які, завдяки широкому використанню різноманітних промислових, локальних і корпоративних мереж, дають можливість координувати управління як технологічними комплексами, так і виробництвом у цілому [1].

За даними діяльності передових фірм 25% ефекту в роботі підприємств досягається за рахунок інформаційного забезпечення і лише 6% - за рахунок нових технологій.

Використання сучасних комп'ютерних технологій комплексної автоматизації дозволяє не тільки швидко знаходити оптимальні технологічні рішення, але і значно знизити ресурсоемність.

До основних комп'ютерних технологій автоматизації виробничих процесів відносяться системи CAPP, CAD, ERP.

Система CAPP (Computer Aided Process Planning – планування технологічних процесів із використанням комп'ютерних програм або автоматизована технологічна підготовка) призначена для послідовності технологічних операцій та оформлення технологічної документації у вигляді операційних і маршрутних карт.

А система CAD (Computer Aided Design – конструювання з використанням комп'ютерних програм) містять модулі моделювання тривимірної звареної конструкції (деталі), оформлення креслень і текстової конструкторської документації (специфікацій, відомостей і т.д.).

Особливістю системи ERP (Enterprise Resource Planning – управління ресурсами підприємства) є ефективний інструмент планування ресурсів підприємства. Її використовують для підвищення ефективності управління всіма елементами на підприємствах із застосуванням комп'ютерних і інформаційних технологій. Крім цього ERP-система – це інформаційна система ідентифікації та планування всіх ресурсів виробництва, що потрібні для продажу, виробництва,

закупівель і обліку у процесі виконання клієнтських замовлень. Основною перевагою цієї системи є інтеграція всіх відділів і функцій компанії в одну комп'ютерну систему, для обслуговування всіх специфічних потреб окремих підрозділів [4].

Під час застосування комп'ютерних технологій автоматизації виробничих процесів здійснюється оброблення інформації. Універсальним пристроєм для цього є електронно-обчислювальна машина [5].

Із точки зору споживачів їх можна розділити на чотири категорії: супер ЕОМ, великі універсальні ЕОМ; малі чи міні-ЕОМ; персональні комп'ютери і мікроЕОМ.

Супер ЕОМ являє собою багатопроцесорну ЕОМ із швидкістю сотні млн і млрд. операцій за секунду. Оперативна пам'ять становить десятки Гбайт, зовнішня пам'ять – десятки Тб, розрядність – 128 біт. Лідером у цій групі машин є машини фірми GRAY. В 2000 р. фірма GRAY випустила ЕОМ, яка виконує 10^{12} операцій за секунду.

Великі універсальні ЕОМ (менфрейми) мають продуктивність в сотні мільйонів операцій за секунду (MIPS), оперативну пам'ять до 10 Гб, зовнішню пам'ять у сотні Гб, багатокористувацький режим роботи (обслуговують одночасно до тисячі користувачів). Основними напрямками використання менфреймів є розв'язування науково-технічних задач, робота з великими базами даних, управління роботою мереж. На менфреймах зараз знаходиться до 70% комп'ютерної інформації.

На відміну від попередніх ЕОМ малі (чи міні) ЕОМ широко використовуються для управління технологічними процесами, для роботи в системах автоматизованого проектування, в системах моделювання нескладних явищ. Міні ЕОМ мають продуктивність – до 100 MIPS, ємність ОП – 4 – 512 Мб, обсяг дискової пам'яті – до 100 Гб.

Останнім часом широко застосовуються персональні комп'ютери (ПК), завдяки своїм широким можливостям обробки інформації. Вони були розроблені фірмою IBM, яка випускала великі ЕОМ, а в 1981 р. на базі 16-розрядного мікропроцесора Intel 8086 створила персональний комп'ютер. Після його випуску з'явилися нові галузі застосування його як у математичних розрахунках, у Web-технологіях, моделюванні об'єктів і явищ тощо [6].

МікроЕОМ сьогодні є самим масовим і самим дешевим класом електронних обчислювальних машин. На їх основі з'являються можливості створення дешевих і масових АСУ ТП. МікроЕОМ складаються з мікропроцесора, напівпровідникової пам'яті і засобів зв'язку з периферійними пристроями. МікроЕОМ побудована на мікропроцесорах, може виконувати функції того чи іншого логічного пристрою в залежності від інформації, занесеної в її пам'ять.

Сучасні мікроЕОМ за своїми можливостями у багатьох випадках не поступаються малим ЕОМ. Мікропроцесор і мікроЕОМ можуть складати основну частину керуючої системи, безпосередньо зв'язану з об'єктом управління і джерелами інформації і містити в своїх програмах алгоритм роботи всієї системи.

Основними перевагами мікроЕОМ є універсальність, програмованість функцій та вбудованість. МікроЕОМ можна встановлювати безпосередньо в склад різного обладнання – агрегатів, приладів, верстатів, засобів передачі даних, технологічного, випробувального, медичного і сільськогосподарського обладнання. У результаті цього можна замінити електронні, електромеханічні і механічні блоки («жорстка логіка») універсальним пристроєм (мікроЕОМ), програма роботи якого однозначно визначає алгоритм обладнання в цілому. Це означає введення обчислювальних процедур і процедур обробки інформації в обладнання, джерела інформації і обчислювальні механізми, що і надає їм нових якостей. МікроЕОМ утворюється монтуванням мікропроцесора, пам'яті інтерфейса і системи управління вводом-виводом на одній чи двох суміжних платах. Продуктивність сучасних мікроЕОМ становить 25-200% від продуктивності малих ЕОМ.

Мікромашинна плата легко встановлюється в різноманітне промислове обладнання. Застосування дешевого мікромашинного управління дозволяє надати промислового обладнання різних логічних можливостей; підвищити продуктивність існуючих засобів обробки даних; значно скоротити терміни розробки і освоєння електронної апаратури; суттєво спростити технічну документацію; збільшити корисний термін служби пристроїв; зменшити габаритні розміри і споживаючу потужність; підвищити надійність систем і знизити їх вартість.

Поєднання обчислювальних можливостей мікропроцесорів із низькою вартістю є основною передумовою для масового впровадження мікропроцесорних виробів у сучасну техніку.

Створення мікромашинних систем потребує розробки програмних і апаратних засобів загальносистемної роботи, паралельних алгоритмів і системного математичного забезпечення.

У технологічних процесах на базі мікроЕОМ можна не тільки будувати обчислювальні системи, але і включати в їх склад такі елементи, як інтегральні роботи, що дає великий ефект у дискретному виробництві. Вітчизняна промисловість випускає багато видів мікроЕОМ.

На базі мікроЕОМ можна будувати обчислювальні сітки, об'єднуючи їх між собою і під'єднуючи до більш потужної центральної ЕОМ. У даний час одним із перспективних напрямів застосування мікроЕОМ є побудова проблемно-орієнтованих комплексів, наприклад «Автоматизовані робочі місця» (АРМ), «Вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК)» і т.д.

У системах управління в залежності від їх масштабів, складності і характеру виконання функцій можуть застосовуватися машини різних категорій. Для користувачів під час вибору ЕОМ суттєвими показниками є вартість, необхідна площа для встановлення і можливість під'єднання до процесора різних периферійних пристроїв.

Загалом в АСУ кожен тип ЕОМ найбільш зручно і доцільно застосовувати на відповідному рівні: великі універсальні ЕОМ – в основному в системах адміністративного управління (управління на рівні галузей промисловості, підприємств виробничої і не виробничої галузей); малі ЕОМ – управління технологічними процесами, організаційне управління на рівні підприємств, основа керуючих обчислювальних комплексів; мікроЕОМ – управління технологічними операціями і робототехнічними пристроями, вирішення завдань організаційного управління, застосування безпосередньо в складі різного типу обладнання і агрегатів, приладів, верстатів, засобів передачі даних, випробовувального обладнання.

У даний час на рівні АСУП і АСУ ТП найбільш підходящими є міні- і мікроЕОМ. Малі і мікроЕОМ не потребують для своєї роботи якихось особливих умов і можуть працювати в звичайних робочих приміщеннях. Розміри мікроЕОМ (мікропроцесорів) дозволяють встановлювати їх у технологічні агрегати і пристрої, надаючи їм якісно нові споживчі властивості.

Прогресом у мікроЕОМ є розширення об'ємів запам'ятовуючих пристроїв і складу периферійного обладнання, що робить мікроЕОМ перспективними і для побудови АСУ ТП [7-8].

ЕОМ, призначені для застосування в АСУ ТП, входять у систему малих ЕОМ (СМ ЕОМ). Система малих ЕОМ являє собою агрегатну систему технічних і програмних засобів обчислювальної техніки, нормативного, методичного і експлуатаційного забезпечення і стандартів, зв'язану раціональною сумісністю і уніфікацією системних, структурних і конструктивних рішень, призначену для побудови керуючих обчислювальних комплексів, які застосовують у системах управління технологічними процесами і агрегатами, в системах автоматизації наукових досліджень, в системах непромислової галузі, а також для виконання комерційних і інженерних розрахунків.

Основними сферами застосування засобів СМ ЕОМ є АСУ неперервними і неперервно-дискретними технологічними процесами і виробництвами; АСУ технологічними процесами і системи оперативного управління в дискретних виробництвах; системи автоматизації наукових експериментів. Крім цього, передбачається застосування засобів СМ ЕОМ у великих обчислювальних системах у якості машин-сателітів, у складі термінальних комплексів (як проблемно-орієнтованих, так і загального призначення).

Можливі різні способи застосування ЕОМ у системах управління технологічними процесами. У загальному випадку система автоматичного управління з ЕОМ являє собою замкнену систему. Технологічний процес характеризується певними вхідними і вихідними параметрами. На вхід керуючої обчислювальної машини від відповідних датчиків (термoelementів, витратомірів, вимірювачів товщини і ін.) надходить інформація про поточні значення параметрів $u_1, u_2, \dots, u_n$. Обчислювальна машина обробляє цю інформацію у відповідності з прийнятим законом управління (алгоритмом управління), визначає величини керуючих впливів x , які необхідно прикласти до виконавчих механізмів для зміни регулюючих параметрів $x_1, x_2, \dots, x_n$, з тим щоб керуючий процес відбувався оптимальним чином (рис. 1).

У даний час широке розповсюдження отримали ЕОМ для управління на самих різних рівнях виробництва, зокрема для управління цілими підприємствами. У цих випадках ЕОМ складає основу так званих автоматизованих систем управління підприємствами (АСУП). Очевидно, що управління технологічним процесом становить нижчий ієрархічний рівень у системах управління підприємствами, то б то АСУ ТП – це нижчий рівень і в той же час основа будь-якої АСУП.

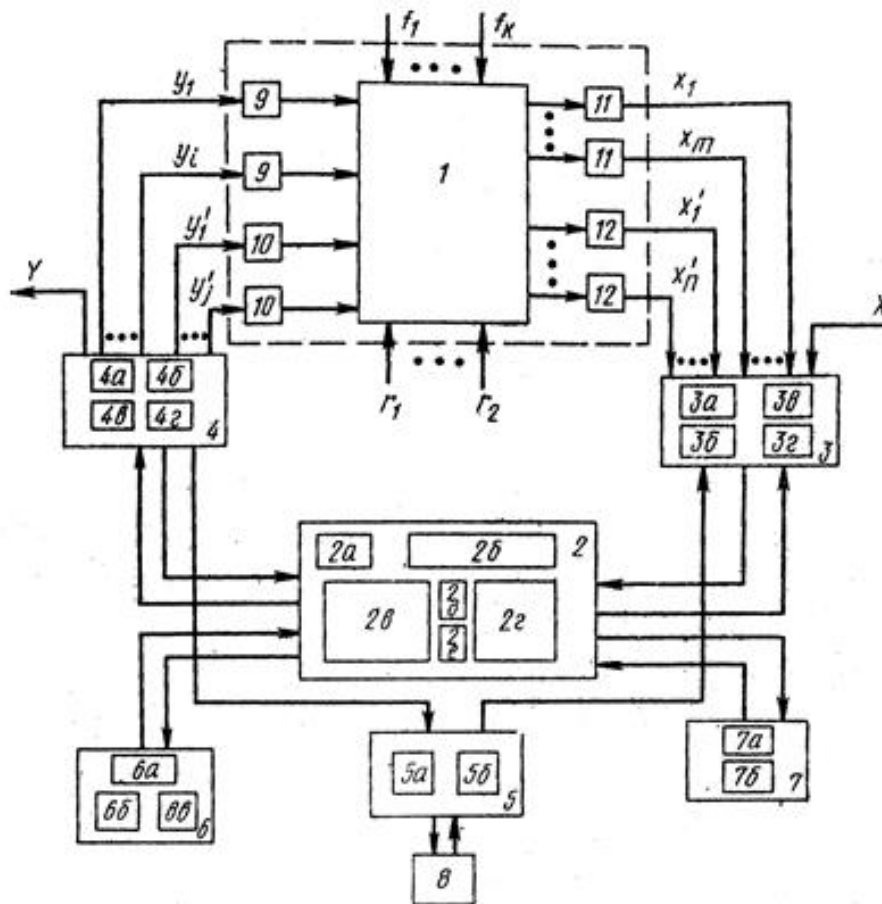


Рис. 1. Схема АСУ ТП із централізованою структурою: 1 – об'єкт управління, 2 – управляюча обчислювальна машина (УОМ); 2а – генератор тактових імпульсів; 2б – пристрій перервний; 2в – процесор; 2г – пам'ять УОМ; 2д – пристрій управління; 2е – пульт УОМ; 3 – пристрій збору інформації (ПЗІ); 3а – перетворювач неперервних величин у дискретні; 3б – датчик переривань; 3в – пам'ять (ПЗ); 3г – апаратура приймання інформації від верхніх рівнів управління; 4 – пристрій виводу інформації (ПВІ); 4а – блоки вихідних підсилювачів; 4б – перетворювачі дискретних величин у неперервні; 4в – пам'ять УОМ; 4г – апаратура передачі інформації у верхні рівні управління; 5 – пульт оператора; 5а – елементи сигналізації; 5б – органи ручного управління; 6 – пристрій реєстрації; 6а – вузол зв'язку пристрою з УОМ; 6б – пам'ять пристрою реєстрації; 6в – автоматичні реєстратори; 7 – пристрій вводу даних у УОМ; 7а – вузол зв'язку пристрою з УОМ; 7б – автоматичні вводні механізми; 8 – оператор; 9 – дискретні виконавчі механізми; 10 – аналогові виконавчі механізми; 11 – датчик дискретних параметрів; 12 – датчик аналогових параметрів; y_i – дискретні управляючі сигнали; y_j' – аналогові управляючі сигнали; x_m – дискретні виходи об'єкта управління; x_j' – аналогові виходи об'єкта управління; f_k – зовнішні входні параметри; r_i – ручні управляючі сигнали; X – входні інформаційні і управляючі сигнали від верхніх рівнів управління; Y – вихідні інформаційні сигнали на верхніх рівнях управління

Зі схеми трирівневої системи управління виробництвом (рис. 2) видно, що будь-яке підприємство можна представити у вигляді піраміди, основою якої є технологічні процеси, до того ж на деяких рівнях може бути не одна, а декілька зв'язаних або не зв'язаних між собою підсистем. У більшості підприємств існує декілька технологічних процесів, тому на підприємстві може бути декілька АСУ ТП. За наявності декількох АСУ ТП можливі різні схеми застосування УОМ: 1) кожен технологічний процес керується за допомогою окремої УОМ; 2) декілька технологічних процесів керуються однією УОМ; 3) робота УОМ на окремих технологічних процесах або на їх частинах координується і направляється центральною УОМ [2, 6-7].

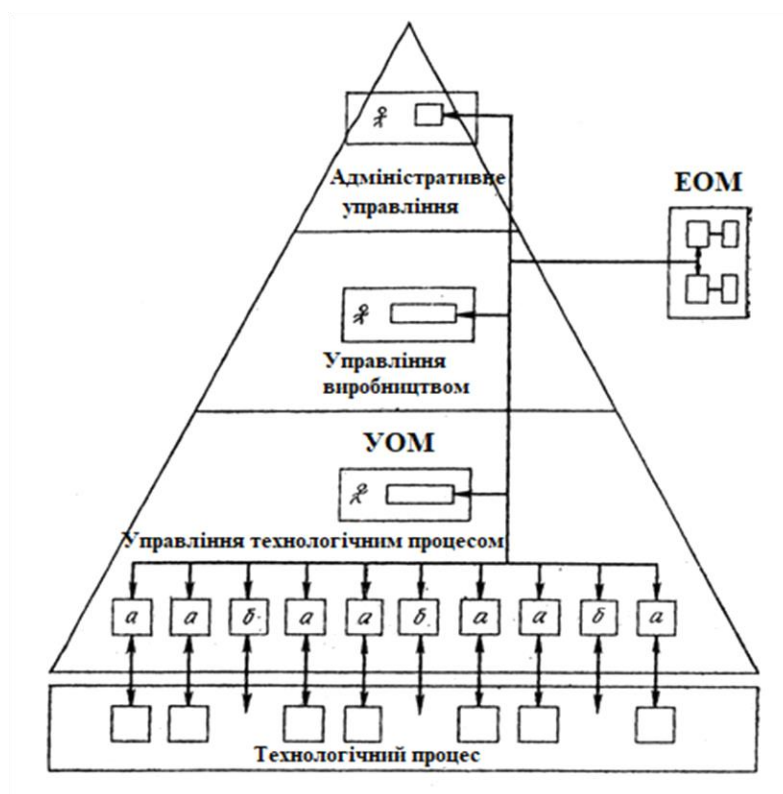


Рис. 2. Схема функціонування тривірневої системи управління виробництвом

Висновки. Отже, для збільшення ефективності роботи, поліпшення умов праці робітників і продуктивності праці, виробництво постійно змушене пристосовуватися до нових технік і технологій. Це вдається здійснити завдяки оновленню техніки, сучасним комп'ютерним і інформаційним технологіям. Сьогодні існує безліч сучасних комп'ютерних і інформаційних технологій, серед яких необхідно виділити найоптимальніші для автоматизації виробничих процесів: мікропроцесори, комп'ютерні технології автоматизації виробничих процесів (САРР, САД, ЕРР), а також засоби обчислювальної техніки (супер ЕОМ, великі універсальні ЕОМ, малі чи міні-ЕОМ, персональні комп'ютери і мікроЕОМ). В АСУ великі універсальні ЕОМ знайшли застосування в основному в системах адміністративного управління, малі – для управління технологічними процесами, організаційного управління на рівні підприємств і як основа керуючих обчислювальних комплексів; мікроЕОМ – для управління технологічними операціями і робототехнічними пристроями, вирішення завдань організаційного управління, застосування безпосередньо в складі різного типу обладнання і агрегатів, приладів, верстатів, засобів передачі даних і випробувального обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М Пупена, В.М Сідлецький, С.М. Швед. Вид. 2-ге, виправлене. К.: Вид. Ліра-К, 2021. С.7-17
2. Бодненко Т.В. Використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів. *Technology audit and production reserves*. № 2/2(22). 2015. С.43-48 (DOI 10.15587/2312-8372.2015.40869)
3. Федік Л.Ю. Особливості організації виробництв харчової промисловості на сучасному етапі розвитку автоматизації. *Global Challenges of contemporary issues: Collection of scientific articles*. Lardy Publishing House, Paris, France, 2018. С. 64-67
4. Троянчук Б.В., Федік Л.Ю. Використання САПР у проектуванні систем автоматизації. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, 2021. № 45. С. 39-43
5. Сезонова І.К., Колісник Т.П., Хорошайло Ю.Є. Архітектура ЕОМ і мікропроцесорні системи: навчальний посібник. Харків: Оберіг, 2011. С.3

6. Апаратне забезпечення інформаційної системи. Класифікація ЕОМ. URL: https://project.zu.edu.ua/ReadData.php?h_id=104. (дата звернення: 22.11.2023)

7. Сергієнко І.В. Комп'ютерні технології і науково-технічний прогрес. *Вісник Національної академії наук України*. 2016. № 11. С. 56-75. URL: file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/vnanu_2016_11_10.pdf. (дата звернення: 21.11. 2023)

8. Марковець О.В., Паздерська Р.С. Використання новітніх технологій для забезпечення комунікації у сфері менеджменту організації. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2019. № 6. С. 7-18. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=ssia_2019_6_4. (дата звернення: 21.11. 2023)

УДК 004.5

Б.О. Білецький, Р.Я. Грудецький

Луцький національний технічний університет

E-mail: r.hrudetskiy@lntu.edu.ua

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРАМЕЛІ З НАЧИНКОЮ

На базі промислового контролера Adam-4000 розроблена автоматизована система керування технологічним процесом виробництва карамелі з начинкою. Реалізація розробленої автоматизованої системи керування дозволить не тільки збільшити продуктивність технологічної лінії, а й підвищити якість готової продукції та екологічність виробництва. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування. Розроблено функціональну схему автоматизації. Вибрано технічні засоби автоматизації та мікроконтролер. Розроблено принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера. На мові Basic Script схем розроблено програму функціонування мікроконтролера. Розроблено електричну схему зовнішніх з'єднань, схему сигналізації, щит керування та схему його живлення.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, карамель з начинкою, автоматизована система керування, алгоритм, програма, мікроконтролер.

B. Biletskyi, R. Grudetskyi. Automated control system for the manufacturing process of caramel with filling.

On the basis of the Adam-4000 industrial controller, an automated control system for the technological process of the production of caramel with filling has been developed. The implementation of the developed automated control system will allow not only to increase the productivity of the technological line, but also to increase the quality of finished products and the environmental friendliness of production. An analysis of the technological process as a control object was carried out. A functional automation scheme has been developed. Technical means of automation and a microcontroller are selected. A basic electrical scheme for connecting sensors and actuators to the controller modules has been developed. A program for the operation of the microcontroller was developed in the Basic Script language of circuits. An electrical circuit of external connections, an alarm circuit, a control panel and its power supply circuit were developed.

Keywords: technological process, production, automated control system, algorithm, program, microcontroller.

Постановка проблеми.

Технологічний процес виготовлення карамелі з начинкою складається з наступних стадій:

- підготовка сировини;
- приготування карамельного сиропу;
- уварювання карамельної маси;
- обробка карамельної маси (охолодження, введення барвників і смакових речовин, проминка, витягування на тягучій машині, отримання карамельного батона і його калібрування);
- приготування начинки;
- формування карамелі;
- охолодження карамелі;
- фасування і упаковка карамелі.

Для уварювання в якості основного устаткування застосовуються варильні котли, обладнані паровою сорочкою. Крім того, сироп можна готувати в дисуторах.

Серед інших найпоширенішим є спосіб приготування сиропу з розчиненням цукру в патоці, цей спосіб прогресивний, однак слід враховувати, що кількість води, яка міститься в патоці є недостатньою для розчинення всього, передбаченого рецептурою, цукру, якщо процес вести при атмосферному тиску. У дисуторах дозують підігріту до 40-50 ° C передбачену рецептурою кількість

патоки і гарячу воду в кількості, що відповідає приблизно 10% маси цукру. Замість цукру можна використовувати нейтралізований інвертний сироп. Потім вводять цукор і розчиняють його при включеному барботері. Після розчинення цукру барботер відключають і сироп уварюють до зазначеної вище масової частки сухих речовин (84-86%). Перевагами цього способу є значне зниження загальної тривалості процесу, економія пари і підвищення продуктивності праці і устаткування.

Карамельну масу готують в універсальних варильних вакуум-апаратах. Апарат складається з двох котлів, розташованих один над іншим. У верхній казан завантажують рецептурну суміш сировини або карамельний сироп і включають обігрів і мішалку. Підігрівальна пара повинна мати тиск 500-600 кПа. Рецептурну суміш перемішують протягом 4-8 хв і після закінчення розчинення цукру вимикають мішалку. Масу уварюють до температури 138-140 ° С, що відповідає вологості 5-6% . Як тільки температура маси досягне необхідного значення, автоматично включається клапан для вивантаження маси в нижній котел і включається вакуум-насос. Попередньо перед випуском маси з верхнього котла нижній котел нагрівають гарячою водою, воду зливають, а котел насухо витирають і змащують. Кипіння маси і подальше випаровування води з неї продовжують в нижньому котлі. У процесі само-випаровування вологість під вакуумом температура маси і її вологість знижуються. Після закінчення варіння готову карамельну масу виливають з апарату, перекидаючи нижній котел. Загальна тривалість варіння карамельної маси становить 20-30 хв.

Процес отримання фруктової начинки включає підготовку фруктової частини сировини, дозування і змішування компонентів (пюре, цукор, патока) і уварювання. Підготовлена в змішувачі рецептурна суміш, в яку входять цукрово-патоковий сироп і фруктове пюре надходить в варильний апарат. Уварена начинка зливається в темперуючу машину. Відтеперована начинка подається на ділянку формувань карамелі. Зайва начинка повертається в темперуючу машину.

Карамельну масу охолоджують як в безперервному потоці на охолоджуючих машинах, так і періодичним способом окремими порціями на охолоджуючих столах. При періодичному способі карамельну масу виливають на охолоджуючий стіл безпосередньо з варильної апаратури або переносять в спеціальних бачках порціями по 20-25 кг. Паралельно охолодженню в карамельну масу на столах вводять фарбу, есенції та кристалічну кислоту. Тривалість охолодження 1-2 хв. На охолоджуючих столах в масу можна вводити зворотні відходи карамелі, що не містять начинки. Ці відходи вносять в карамельну масу відразу після виливання її на стіл. При цьому вони швидко розплавляються в гарячій карамельній масі. Кількість введених відходів не повинне перевищувати 10%.

Призначенням розминки карамельної маси є рівномірний розподіл у ній кислоти, есенції, фарби, повне рівномірний розподіл введених відходів. При розминці, здійснюваній вручну, масу складають так, щоб нижні остиглі шари її потрапляли всередину. Після цього масу проминають і подають на формування. При напівмеханізованому способі виробництва розминки здійснюють на розминочній машині періодичної дії. Основними частинами цієї машини є обертовий на вертикальній осі стіл, над яким обертається зубчастий розминальний ролик і поміщений перекидач у формі лемеша. Стіл, ролик і перекидач охолоджуються водою. Після розминки температура карамельної маси знижується до 75-80 ° С.

Для отримання карамелі з непрозорою оболонкою карамельну масу після фарбування, ароматизації обробляють на витягувальній машині. Після такої обробки вона набуває шовковистий блиск і крихкість, що є наслідком проникнення в масу повітря. При цьому маса втрачає прозорість, а щільність її значно зменшується. Одночасно в масі рівномірно розподіляються введені добавки і зворотні відходи.

Щоб з безформної пластичної маси отримати калібрований джгут певного перетину, спочатку готують карамельний батон конічної форми, а потім з вершини конуса витягають карамельний джгут. Для отримання карамельного батона у формі конуса з начинкою або без неї використовують валкові машини. Для вироблення карамелі з начинкою, які закачуються насосом, на корпусі машини змонтований наповнювач начинки. Він служить для дозованої подачі начинки всередину карамельного батона. Для отримання з карамельного батона карамельного джгута певного перетину використовують калібруючу машину.

Метою формувань карамелі є отримання окремих виробів певної форми. Для формування карамелі з фруктовою начинкою найбільше поширення одержали ланцюгові (ріжучі і штампуєчі машини).

Відформована карамель швидко охолоджують до температури близько 35 ° С. Карамель у вигляді ланцюжка відформованих виробів, пов'язаних пластичними перемичками, охолоджують на

вузьких транспортерах, швидкість яких однакова зі швидкістю руху формуючих ланцюгів, тобто швидкість транспортера повинна збігатися зі швидкістю формуючих ланцюгів. Якщо швидкість стрічки перевищує швидкість ланцюгів, то карамельна ланцюжок витягується і карамель деформується. Якщо ж швидкість стрічки недостатня, то карамельна ланцюжок лягатиме змійкою і навіть петлями і злипатиметься. Транспортер виготовляють з прогумованого полотна шириною до 100 мм. На транспортері карамельний ланцюжок зверху і з боків обдувається повітрям, що нагнітається вентилятором. Карамель відформована у вигляді окремих виробів, або розділена на окремі карамельки з ланцюжка після охолодження на вузькому транспортері, охолоджують на спеціальних пристроях: широких транспортерах різного виду, часто багатоярусних, і в пристроях закритого типу (шафах).

Загортання здійснюють на загорткових машинах. В залежності від методу затиску і замикання кінців етикетки розрізняють кілька видів загортання. Найбільш поширеним видом є закладення кінців етикетки закручуванням - «в закрутку». Рідше використовують обгортку із закладенням етикетки при основі складками і перекручуванням вільного кінця - «саше».

Для досягнення найкращої якості готової продукції під час процесу виробництва необхідно дотримуватись параметрів технологічного процесу які наведенні в табл. 1.1.

Таблиця 1 - Параметри технологічного процесу

№ п/п	Параметр, що контролюється	Одиниці вим.	Значення	Відхилення
1	Температура води і потоки	°C	45	± 5
2	Тривалість змішування компонентів для начинки	хв.	4	± 0,4
3	Температура уварювання карамельної маси	°C	138	± 2
4	Температура карамельної маси на виході вакуум-апарату	°C	120	± 20
5	Тривалість змішування компонентів для карамелі	хв.	8	± 0,4
6	Температура карамельної маси після проминки	°C	78	± 2
7	Температура відформованої карамелі	°C	68	± 3
8	Температура карамелі на виході з охолоджувальної машини	°C	35	± 1

Вимоги до системи автоматизації

Можливість автоматизації кондитерського виробництва дозволяє значно знизити собівартість і скоротити кількість зайнятого персоналу. Якщо ще кілька років тому назад попит на устаткування з підвищеним ступенем автоматизації складав менш половини від усіх промислових ліній, що встановлювалися, і розробки комп'ютерного і програмного забезпечення були на рівні досвідчених зразків, то в даний час бурхливий розвиток інформатики гарантує максимальну надійність комп'ютерних систем. До систем автоматизації керування виготовленням карамелі з фруктову начинкою висуваються наступні вимоги:

- автоматичне керування всім процесом;
- автоматичне керування електродвигунами й іншими пристроями;
- підтримка інтерактивного режиму при відображенні аварійних сигналів і допомога при пошуку несправності за допомогою зручного графічного інтерфейсу і пояснень;
- відображення на екрані дисплея графіків зміни різних параметрів у режимі реального часу і запис у пам'ять всіх змін у часі для наступного аналізу;
- керування програмами техобслуговування на різні терміни;

Постановка завдання.

На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва карамелі з начинкою можна зробити наступні висновки. Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом виробництва мають ряд недоліків, а саме вони обмежуються лише візуальним контролем та ручним керуванням і регулюванням технологічних параметрів, частково відсутня сигналізація та

технологічний захист. Присутні значні відхилення технологічних параметрів та часу протікання процесів. Для забезпечення високої продуктивності лінії та якості готової продукції необхідно:

1. провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
2. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
3. вибрати датчики, виконавчі механізми та контролер;

Тому виникла необхідність розробити автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва карамелі з начинкою.

Виклад основного матеріалу.

Для проведення автоматизації лінії вибрано давачі та виконавчі механізми, які задовольняють вимоги безпеки, та відповідають необхідним умовам функціонування. Аналогові датчики температури, витрати, рівня і розрідження, які розміщені на протяжності лінії, виробляють уніфіковані сигнали 4-20мА, які далі надходять на контролери. Завдяки цьому забезпечується висока точність і надійність роботи обладнання. Виконавчі механізми теж керуються уніфікованими сигналами контролерів.

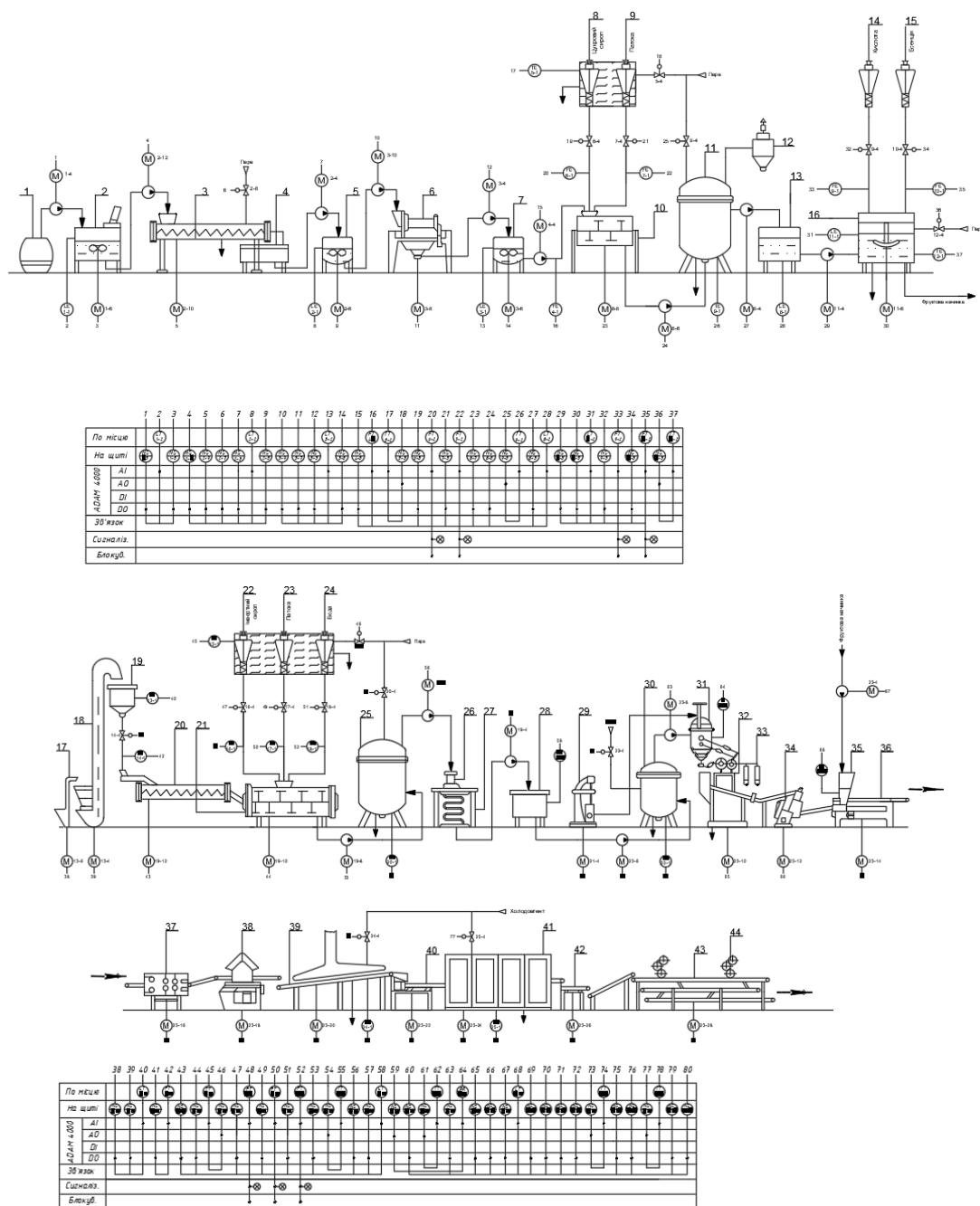


Рисунок 1 – Функціональна схема керування технологічним процесом виготовлення карамелі з начинкою

Для автоматичного регулювання і контролю підібрані мікропроцесорні пристрої серії ADAM4000 фірми-виробника Advantech. Вони відзначаються достатньою надійністю, великою точністю, малим споживанням електроенергії та досить гнучким налаштуванням, відповідно до поставлених задач. Контролери ADAM4000 в порівнянні з іншими контролерами аналогічного типу є дешевшими і легкими у програмуванні, але водночас мають вбудований інтерфейс RS-485 з підтримкою технології ModBus, що дозволяє здійснювати керування технологічним процесом зі SCADA-системи.

Відповідно до функціональної схеми (рисунок 1) підібрано контролери так, щоб було якомога менше незадіяних входів чи виходів, виключаючи цим самим додаткові капіталовкладення.

Пюре починає перекачуватися з діжки 1 в збірник 2, за це відповідає датчик рівня 1-1, який відслідковує рівень пюре в ньому. При падінні рівня нижче допустимого, посилається сигнал на запуск мотора 1-4, який приводить в дію насос, для перекачки необхідної кількості пюре до танка-збірника 2, одночасно спрацьовує мотор 1-6, який включає змішувач в цьому збірнику. Якщо датчик рівня 2-1 зафіксує нестачу пюре в змішувачі 5, спрацьовує мотор 2-4, який запускає насос для перекачки в нього пюре, та мотор 2-6, який включає сам змішувач. При цьому спрацьовує мотор 2-10, який безпосередньо приводить в дію шнек шпарильника, для транспортування пюре по ньому. В цей же час подається сигнал на відкриття вентилі 2-8, який подає пару для обробки пюре, і на запуск мотора 2-12, що забезпечує роботу насоса для перекачки пюре в шпарильник із танка-збірника 2. Датчик рівня 3-1 відслідковує рівень протертого пюре у змішувачі 7, якщо він опуститься нижче заданого запускається мотор 3-4, для включення насоса, який перекачує пюре до нього, і мотор 3-6 для початку його змішування. Мотор 3-8 включає протиральну машину 6, а мотор 3-10 забезпечує роботу насоса, який перекачує пюре до неї, з змішувача 5.

У змішувач 10 надходять, уже раніше протерте, пюре, цукровий сироп і патока - компоненти для фруктової суміші. Коли датчик рівня 8-1 зафіксує наявність фруктової маси нижчу за задану, в проміжній ємності 13, включається мотор 8-8, який приводить в дію змішувач 10. Запускається мотор 4-4, який приводить в дію насос, що перекачує протерте пюре. Його кількість фіксується датчиком витрати 4-1. Водночас до змішувача 10 надходить патока і цукровий сироп, їх дозування забезпечують датчики витрати 6-1 та 7-1. Задана температура патоки і води підтримується завдяки датчику температури 5-1. Відповідно до його показів визначається керуючий сигнал на відкриття вентилі 5-4, який регулює подачу пари для підігріву. Готова фруктова суміш перекачується у змієвиково-варочний апарат 11, в якому температура підтримується на заданому рівні шляхом подачі пари. Задану температуру відслідковує датчик температури 9-1, відповідно до чітких показів визначається ступінь відкриття вентилі 9-4. Мотор 8-4 приводить в дію насос, який перекачує уварену фруктову масу із змієвиково-варочного апарату 11 до проміжної ємності 13.

За належним рівнем фруктової начинки, в темперуючій машині 16, слідує датчик рівні 11-1. При його зниженні подається сигнал на мотор 11-4, який відповідно приводить в дію насос, що перекачує уварену фруктову масу до темперуючої машини 16. Одночасно включається мотор 11-6, який запускає змішувач фруктової начинки. Дозування кислоти та есенції здійснюється засобами датчиків витрати 9-1 і 10-1. Температуру в темперуючій машині 16 відслідковує датчик температури 12-1, відповідно до показів якого змінюється подача пари засобами вентилі 12-4.

Цукор пісок проходить через просіювач 17, і за допомогою ковшового елеватора 18 засипається в бункер проміжний 19. Рівень цукру в бункері проміжному 19 визначається датчиком рівня 13-1. В залежності від його показів подаються керуючі сигнали на мотори 13-4 і 13-6, які запускають просіювач 17 та ковшовий елеватор 18. Включаються мотори 19-10 і 19-12, які запускають шнек 20 та змішувач 21, коли датчик рівня 19-1 зафіксує відсутність потрібного рівня увареного сиропу, у проміжному збірнику 28. Цукор пісок дозується в необхідній кількості на стрічковий конвейєр, далі через шнек 20 надходить в змішувач 21. Дозування цукру підтримується за допомогою датчика витрати 14-1. Одночасно в змішувач 21 дозуються інертний сироп патока і вода. Витрата яких також контролюється датчиками витрати 16-1, 17-1 та 18-1 відповідно. За вірною температурою цих компонентів слідує датчик температури 15-1. Базуючись на його показах, подається сигнал на вентиль 15-4, який контролює подачу пари, для обігріву. Далі включається мотор 19-8, який запускає насос, що перекачує готову суміш у змієвий котел 25, на уварювання. Температура уварювання контролюється подачею пари через вентиль 20-4, сигнал на який подається відповідно до показів датчика температури 20-1. Уварений сироп перекачується насосом, який приводить в дію мотор 19-6, через фільтр стаканчатий 26, в змієвиковий збірник-охолоджувач 27. Звідки насосом, який запустив мотор 19-4, перекачується в проміжний збірник 28.

Мотор 23-6 запускає насос, який перекачує уварений сироп до вакуум-апарату-апарату 30, з виносною вакуум камерою 31. Понижений тиск забезпечує вакуум-насос 29, який включається мотором 21-4, і що працює відповідно до показів вакуумметра 21-1. Значення температури, в вакуум-варильному апараті, визначається датчиком температури 22-1, і в залежності від нього проводиться зміна стану вентиля 22-4. Мотор 23-10 запускає машину охолоджуючу 32, в приймальну лійку якої надходить уварена карамельна маса. Водночас на карамельну стрічку подаються рецептурні добавки дозаторами 33. Охолоджена карамельна маса надходить на проминальний пристрій безперервної дії 34, який приводиться в дію мотором 23-12. Карамелеобкатувальна машина 36 запускається мотором 23-14, а рівень начинки у наповнювачі 35, контролюється датчиком рівня 23-1, і при необхідності доповнюється насосом, якого приводить в дію мотор 23-4. Готовий джгут надходить в карамелеобкатувальну машину 37, яка працює завдяки мотору 23-16, і далі у карамелештампувальну 38, яку запускає мотор 23-18.

Готовий ланцюжок карамелі, з перемичками, конвеєром 39, що працює від мотора 23-20, надходить до живильного вібротокта 40. Паралельно охолоджуючись, завдяки циркулюючому над ним холодоагенту. Температуру відслідковує датчик температури 24-1, за значеннями якого працює клапан 24-4. Після вібротокта карамель надходить до темперуючої шафи 41, яка працює завдяки мотору 23-24, а температура в ній контролюється датчиком температури 25-1 та клапаном 25-4. Охолоджену карамель відвідний вібротокт 42, що приводиться в дію мотором 23-26, подає на конвеєр розподільний 43, і далі на машини для загортання 44, які працюють від мотора 23-28.

Висновки.

Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва карамелі з начинкою, дозволить не тільки підвищити якість готової продукції, а й збільшити продуктивність технологічної лінії, та підвищить екологічність виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологія виробництва карамелі. URL: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-vyrobnytstva-karameli> (дата звернення 09.10.2023).
2. Карамель з начинками URL: https://pidru4niki.com/15500103/tovarovnavstvo/karamel_nachinkami (дата звернення 09.10.2022).
3. Сапфір 22 ex м ДИ 2140 URL: <https://pribortrade.com.ua/datchiki-davleniya-sapfir/sapfir-22-exdi-2140/> (дата звернення 09.10. 2023).
4. ДКС-0,6-50 - Діафрагма камерна URL: <http://dks.net.ua/dks-06-50> (дата звернення 09.10.2022).
5. MT100, MT100P, MT100R, MT100PR Датчик тиску надлишкового. Розрідження, та надлишковий тиск та розрідження. URL: <https://www.priborinvest.by/mt100p-mt100rmt100pr-datchiki-davlenija.html> (дата звернення 09.10. 2023).
6. Термоперетворювачі зі струмовим вихідним сигналом: звичайні типу ТСПУ / ТСМУ / ТХАУ-0288 та вибухобезпечні типу ТСПУ / ТСМУ / ТХАУ-0289 URL: <https://www.thermomir.com.ua/index.php/products/pvtfv/pervynni-peretvoruvachi/thhu> (дата звернення 09.10. 2023).
7. Магнітний пускач АСКО ПМ 4-95 220В URL: https://amperok.com.ua/magn%D1%96tnij_puskach_asko_pm_4_95_220_v_a0040010015 (дата звернення 09.10.м).
8. Testo 350 Промислові газоаналізатори URL: <https://dp.prom.ua/ua/p912888637-testo-350-promyshlennye.html?&primelead=M4x> (дата звернення 09.10. 2023).
9. Лампа світлодіодна 1,5W G4 12V 2700K, 6400K URL: <https://voltshop.com.ua/product/lampa-svetodiodnaya-kaps-1-5w-g4-12v-2700k-6400k/> (дата звернення 10.12. 2023).
10. Siemens SIMATIC S7-200 CPUs PLC URL: <https://www.s7automation.com/simatic-s7-200/> (дата звернення 10.12. 2023).
11. Блоки живлення SITOP Siemens URL: <https://el-industry.com/siemens1/sitop/> (дата звернення 10.12. 2023).

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ГЛАЗУРОВАНОГО СИРУ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Зазначена стаття присвячена аналізу технологічного процесу виробництва глазурованих сирків з продуктами переробки проса та вивченню функціонально-технологічних властивостей клітковини з висівок проса. Вона також має на меті дослідити та встановити раціональні кількості внесення клітковини з висівок проса до молочно-білкової основи та уточнити технологічні параметри виробництва глазурованих сирків з вище зазначеною сумішшю.

Огляд актуальних досліджень зазначає, що в харчовій промисловості наразі велика увага приділяється створенню продуктів, що задовольняють фізіологічні потреби в життєво важливих макро- і мікронутрієнтах, а також харчових волокнах. Молочні продукти вважаються одними з найповніших за складом і найбільш придатними для раціонального харчування. Однак, вони можуть мати змінливий вміст вітамінів і мінералів залежно від сезону і технологічної обробки.

У зв'язку з цим, розробка збагачених сирків, зокрема глазурованих, які включають в себе необхідні макро- і мікроелементи, вітаміни, харчові волокна та інші корисні речовини, є актуальною задачею. Такі продукти можуть мати підвищену біологічну цінність і фізіологічну активність, що робить їх бажаними для вживання.

Важливим етапом є вивчення технологічного процесу, включаючи внесення клітковини з висівок проса до молочно-білкової основи, а також встановлення раціональних кількостей для досягнення оптимального складу та якості продукту.

Ключові слова: глазурований сирок, просо, технологічний процес, переробка, обробка

V. Grytsiuk, V. Satsyk, O. Smoliankin, L. Markina. Analysis of the technological process of glazed cheese production as a control object

The mentioned article is devoted to the analysis of the technological process of producing glazed cheeses with oat processing products and the study of the functional and technological properties of bran from oat husks. It also aims to investigate and establish rational quantities of introducing bran from oat husks into the milk-protein base and refine the technological parameters of producing glazed cheeses with the aforementioned mixture.

A review of current research indicates that the food industry currently pays significant attention to creating products that satisfy physiological needs for essential macro- and micronutrients, as well as dietary fibers. Dairy products are considered among the most complete in composition and most suitable for rational nutrition. However, they may have variable levels of vitamins and minerals depending on the season and technological processing.

In connection with this, the development of enriched cheeses, particularly glazed ones, incorporating necessary macro- and micronutrients, vitamins, dietary fibers, and other beneficial substances, is a relevant task. Such products may have enhanced biological value and physiological activity, making them desirable for consumption.

An important stage is the study of the technological process, including the addition of bran from oat husks to the milk-protein base, and the determination of rational quantities to achieve optimal composition and product quality.

Keywords: glazed cheese, oats, technological process, processing, treatment.

Постановка проблеми. Необхідність покращення споживчих властивостей, підвищення конкурентоспроможності, забезпечення стабільних якісних показників продуктів вимагає раціоналізації складу та коригування традиційних технологій глазурованих сирків. Виробництво багатокomпонентних молочно-білкових продуктів десертного призначення здійснюється з використанням нетрадиційної сировини рослинного походження та різноманітних харчових добавок. Ефективним способом удосконалення технології глазурованих сирків є оптимізація рецептурного складу за рахунок додавання продуктами переробки проса багатих харчовими волокнами. Клітковина з висівок проса містить білки і вуглеводи, що легко засвоюються, мікро- і макроелементи, вітаміни та баластні речовини. Вони можуть виконувати роль

структуруючих компонентів в технології глазуrowаних сирків. Аналітичними дослідженнями не виявлено інформації щодо використання екструдованих та солодових зернопродуктів в технологіях сиркових виробів, не знайдено даних, які узагальнюють закономірності стабілізації молочно-рослинних систем під впливом складових зернових інгредієнтів. У зв'язку з цим актуальним завданням є удосконалення технології сиркових виробів із зерновими інгредієнтами, що дасть змогу підвищити їх харчову і біологічну цінність та, враховуючи особливості складу сировини, забезпечити стабільність технологічних властивостей в процесі виробництва та зберігання, зменшити витрати молочно-білкової основи і залучити до технологічного циклу вітчизняну зернову сировину.

Нові принципи використання рослинних інгредієнтів можуть бути реалізовані шляхом створення сумішей (молочно-білкова основи з рослинними інгредієнтами), використання яких дозволить розробити широкий асортимент молоковомісних продуктів. При буді враховано особливості складумолочної сировини, забезпечено стабільність її технологічних властивостей в процесі зберігання, мінімізовано витрати інгредієнтів, і залучено до технологічного циклу виробництва вітчизнянубілково-рослинну сировину, оброблену різними способами.

Останніми роками в Україні спостерігається тенденція до інтенсивного зростання кількості людей із захворюваннями ендокринної системи, системи кровообігу, органів травлення, порушення обміну речовин (цукровий діабет, ожиріння), які отримали загальну назву «хвороби цивілізації». Це пов'язано з незбалансованістю складу раціону харчування населення, споживанням великої кількості високо рафінованих харчових продуктів, складною екологічною та техногенною ситуацією. Дослідження останніх років довели, що існує прямий зв'язок між цим захворюваннями та дефіцитом харчових волокон у раціоні харчування людини.

На сьогодні харчові волокна є популярними та найбільш вживаними серед харчових інгредієнтів, адже вони є багатофункціональними. По перше, харчові волокна використовують як технологічні добавки, що змінюють структуру і хімічні властивості харчових продуктів, по друге, харчові волокна являються функціональними інгредієнтами, які здатні позитивно впливати як на окремі системи організму людини, так і на весь організм в цілому.

Розширення асортименту глазуrowаних сирків сприяє впровадження сучасних технологічних процесів обробки, створення ресурсозберігаючих технологій з використанням різних видів нетрадиційної сировини, які зменшують калорійність і одночасно підвищують харчову цінність молочних продуктів.

Огляд актуальних досліджень з проблеми. В даний час в харчовій промисловості все більше уваги приділяється створенню харчових продуктів, що забезпечують фізіологічну потребу в життєво важливих макро- і мікронутрієнтів, а також харчових волокон, які визнані необхідними компонентами харчування. Молочні продукти найбільш повно відповідають формулі раціонального харчування [1]. Однак окремі цінні харчовому відношенні нутрієнти або відсутні в їх складі або знаходяться в незначній кількості, так як вітамінна і мінеральна цінність молока значно коливається в залежності від сезону і пори року. Крім того, технологічна обробка молока веде до суттєвих втрат вітамінів при сепарування, нормалізації, тепловій обробці і тривалому зберіганні. З метою формування дієтичних властивостей молочних продуктів зменшують жирність використовуюваного при їх виробництві молока-сировини. Проте видалення частини молочного жиру призводить до зниження вмісту в продукті жиророзчинних вітамінів А, D, Е і β -каротину. У той же час існують харчові інгредієнти рослинного походження, які є природними досить багатими джерелами вітамінів, мінеральних речовин, олигосахаридов, харчових волокон, антиоксидантів, поліненасичених жирних кислот, якими можна заповнити втрати або навіть збільшити їх вміст. При цьому органолептичні властивості нового збагаченого продукту не погіршуються [2, 3]. У зв'язку з цим розроблення збагаченого сиркового продукту, зокрема глазуrowаних сирків, що володіють підвищеною біологічною цінністю за рахунок скорегованого хімічного складу, що включає харчові волокна, вітаміни, макро-і мікроелементи в кількості. Це відповідає добовій фізіологічній потребі людини, і що володіє фізіологічно активними і лікувально-профілактичними властивостями, є актуальним. Слід зазначити, що глазуrowані сирки – це продукт, досить зручний для збагачення і легко балансується по нутрієнтному складу [4].

Глазуrowані сирки виробляють двома способами: *без попереднього заморожування* та *з попереднім заморожуванням* їх перед глазуrowанням. Першим способом глазуrowані сирки виготовляють на поточкових лініях, другим □ на устаткуванні, що використовується для виготовлення морозива ескімо [5].

Глазуrowані сирки, які виробляються першим способом, мають прямокутну чи циліндричну

форму з невеликим зрізом по довжині. Розміри сирків: довжина (60 ± 2) мм, діаметр 28 ± 30 мм [6].

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою роботи є аналіз технологічного процесу виготовлення глазуrowаних сирків з продуктами переробки проса, функціонально-технологічних властивостей клітковини з висівок проса, дослідити і встановити раціональні кількості внесення клітковини з висівок проса до молочно-білкової основи та уточнити технологічні параметри виробництва глазуrowаних сирків з вище зазначеною сумішшю.

Виклад матеріалів дослідження. З апаратного цеху, знежирене і пастеризоване за температури $72 \dots 78$ °C молоко направляється в коагулятор DONI Double O Vat охолоджене до температури заквашування $24 \dots 26$ °C. До коагулятора вноситься закваска прямого внесення – мезофільні культури молочнокислих бактерій і ароматичні культури, газоутворюючі бактерії (CHN 19 фірми Hansen; XT 303 / 302 Hansen; MN8 фірми Texel; XT 312 mesophilic aromatic фірми Hansen).

Сквашування відбувається від 6 до 12 годин до $pH = 4,65 - 4,7$. Готовий згусток розрізають, отримане в результаті зерно сушать, поступово підвищуючи температуру до $36 \dots 40$ °C, після чого молочна сироватко-зернова суміш подається за допомогою об'ємного насоса на трубчастий охолоджувач DONI Therm, де охолоджується до $27 \dots 30$ °C. Охолоджена суміш подається на відділювач для сироватки DONI Drainmatic, де відділяється 100% вільної вологи.

Завдяки системі конвеєрів DONI Transist готовий продукт транспортується до барабанного охолоджувача DONI Rotofreeze, де послідовно охолоджується в першому модулі від 25 °C до 16 °C і в другому - від 16 °C до 10 °C. Охолоджуюча поверхню DONI Rotofreeze має температуру -10 °C.

Охолоджений готовий продукт подається на фасування. Традиційно класичний сир пропонується у вигляді брикетів або використовується для виробництва різних продуктів з наповнювачами. Миття здійснюється централізовано за допомогою модуля DONI Pro CIP Така схема виробництва сиру кисломолочного з високим (HLA) рівнем автоматизації.

Глазуrowані сирки з продуктами переробки проса виробляють аналогічно до виробництва глазуrowаних сирків з ваніліном.

Підготовлені до виробництва усі види сировини (сир кисломолочний, масло солодковершкове з м.ч.ж. 73%, клітковина з висівок проса, цукор, ванілін), передбачені рецептурою, відважують на вагах і приступають до готування замісу.

У місильну машину закладають сир кисломолочний нежирний температурою 10 ± 3 °C, включають мішалку і вносять цукор білий. Після часткового перемішування до суміші додають підготовлені вершкове масло, клітковину із висівок проса і все це знову перемішують, середня тривалість перемішування складає до 10 хв.

Глазуrowані сирки з продуктами переробки проса формуються у вигляді циліндру з невеликим зрізом по довжині. Розміри сирків: довжина 60 ± 2 мм, діаметр 28 ± 30 мм, маса 36 г.

При виробленні на потоковій лінії охолоджена до 7 ± 2 °C маса надходить у бункер дозувально-формуальної машини і виходить з неї у виді декількох сформованих потоків, що автоматично розрізаються на частини масою $50 \pm 1,5$ гр. Отримані сирки з шоколадною крихтою по транспортері надходять в глазуrowану машину, де вони покриваються зверху шоколадною глазурюю.

Сирки глазують з продуктами переробки проса при температурі глазури, виготовленої на маслі какао, 36 ± 3 °C. Зайва глазури із сирків з шоколадною крихтою віддається струменем теплого повітря, який подається вентилятором через повітряне сопло глазуровочної машини.

Нижня частина сирків з продуктами переробки проса покривається глазурюю за допомогою обертових валиків глазуровочної машини. Після глазурування сирки з продуктами переробки проса по транспортері надходять у повітряний охолоджувач, де при температурі від -1 до $+1$ °C глазури застигає на сирках з продуктами переробки проса у потоці. По виходу з охолоджувального тунелю сирки глазуrowані з продуктами переробки проса надходять на фасувальний автомат, після чого їх укладають у ящики.

Висновки. Аналізуючи дані літературних джерел, можна зробити висновок про помітне зростання виробництва глазуrowаних сирків з різними наповнювачами, що свідчить про актуальність цього напрямку розвитку молочної промисловості. У зв'язку з перспективністю даного напрямку виникає доцільність розробки нових видів глазуrowаних сирків з продуктами переробки проса. При цьому варто враховувати, що продукти переробки проса, а саме клітковина з висівок проса має корисну біологічну дію на організм людини, економічно вигідні, гарантовано гігієнічно безпечні, мають достатню сировинну базу. Глазуrowані сирки з вище вказаними харчовими волокнами біологічно повноцінні, мають відповідні органолептичні показники, направлено заданий

склад і властивості, що враховують вимоги сучасних теорій харчування. Виробництво такої продукції сприятиме заощадженню білкової сировини тваринного походження.

Враховуючи вище зазначене були сформульовані основні задачі, вирішення яких забезпечить досягнення кінцевої мети: дослідження доцільності використання продуктів переробки проса та клітковини з висівок проса в технології глазурованих сирків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Савченко О.А., Грек О.В., Красуля О.О. Актуальні питання технологій молочно-білкових концентратів: теорія і практика. Моногр. К.: ЦП «Компринт», 2019. 293 с.
2. ДСТУ 4503:2005. Вироби сиркові. Загальні технічні умови. Чинний від. 28.12.05. К.: Держспоживстандарт, 2006. 14 с.
3. ДСТУ 4554:2006. Сир кисломолочний. Технічні умови. – Чинний від. 21.11.07. – К.: Держспоживстандарт, 2007. 12 с.
4. Mobley, Amy & Slavin, Joanne & Hornick, Betsy. (2019). The Future of Grain Foods Recommendations in Dietary Guidance.. The Journal of nutrition. 143.
5. A Definition for Whole-Grain Food Products—Recommendations from the Healthgrain Forum, Advances in Nutrition, Volume 8, Issue 4, July 2020, Pages 525– 531.
6. Сирохман І. В., Завгородня В. М. М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 544 с.

УДК 37:004.5

А.С. Зубакіна, К.А. Фрончко, П.В. Саварин

Луцький національний технічний університет

E-mail: zubakina.angelina@gmail.com, katafronshko@gmail.com, savaryn.pasha@lntu.edu.ua

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК КЛЮЧОВИЙ ЧИННИК ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СФЕРІ ОСВІТИ ТА НАУКИ

У цій статті проаналізовано ключові чинники процесів цифровізації у сфері освіти та науки. Досліджено вплив цифрових інструментів на доступність знань, підвищення якості навчання та розвиток наукових досліджень. Обговорюються переваги використання онлайн-платформ, інтерактивних методик та інших інноваційних засобів в освітньому процесі. Звертається увага на переваги та недоліки, що виникають при впровадженні цифрових технологій у сфері освіти і науки, а також на стратегії оптимізації їх використання для досягнення більш ефективних результатів.

Ключові слова: цифровізація, навчальні заклади, компетентність, інформаційні технології, освітній процес, професійний стандарт вчителя

A.Zubakina, K.Fronchko, P. Savaryn. Digitization as a key factor in improving processes in the field of education and science. In this article, key factors of digitization processes in the field of education and science are analyzed. It examines the impact of digital tools on knowledge accessibility, the enhancement of learning quality, and the advancement of scientific research. The advantages of utilizing online platforms, interactive methodologies, and other innovative means in the educational process are discussed. Attention is drawn to the advantages and disadvantages arising from the implementation of digital technologies in the sphere of education and science, as well as strategies for optimizing their use to achieve more effective outcomes.

Keywords: digitization, educational institutions, competency, information technologies, educational process, teacher professional standard.

Постановка проблеми. Цифровізація освіти відіграє значну роль у покращенні ключових процесів у сферах освіти, науки та виробництва. В останні роки ця трансформація стала не лише необхідністю, але й важливим стимулом для розвитку. Занурення у цифровий світ відкриває нові можливості і виклики, які варто розглянути.

Цифровий світ, в який ми входимо, безсумнівно, є не лише новим логічним етапом у розвитку технологічної сфери людства, але й змінює всю існуючу правову, соціальну та політичну реальність. Хоча загальноприйнятих та узгоджених визначень і правових дефініцій ще не існує, цифрові технології

вже стрімко проникають у життя. Цифровізація стає найважливішим фактором економічного зростання будь - якої країни і взагалі є сучасним трендом розвитку.

Цифровізація (з англ. digitalization) – це впровадження цифрових технологій в усі сфери життя: від взаємодії між людьми до промислових виробництв, від предметів побуту до дитячих іграшок, одягу тощо. Це перехід біологічних та фізичних систем у кібербіологічні та кіберфізичні (об'єднання фізичних та обчислювальних компонентів). Перехід діяльності з реального світу у світ віртуальний (онлайн) [4].

Найпріоритетнішими сферами є наука як галузь, що генерує нові знання, та освіта як галузь, що гуманізує знання і насамперед забезпечує розвиток особистості.

Розгляньмо, чому цифровізація набула сьогодні широкого розповсюдження, чому її впровадження потребує уваги, як вона впливає на навчальний процес та його наслідки.

Цифровізація не з'явилася раптово як об'єктивна реальність. З одного боку, вона базується на успадкованих методологічних засадах «класичного» освітнього процесу, а з іншого – на розвитку науки і техніки, який зробив інформацію доступною в різних формах. Використання цифрових технологій в освіті наразі є однією з найважливіших і найстійкіших тенденцій розвитку освітніх процесів у всьому світі [3].

Цифровою освітою є об'єднання різних компонентів і найсучасніших технологій завдяки використанню цифрових платформ, впровадженню нових інформаційних та освітніх технологій, застосуванню прогресивних форм організації освітнього процесу та активних методів навчання, а також сучасних навчально-методичних матеріалів.

Важливість впровадження цифрових технологій в освітній процес знаходить своє відображення в дослідженнях сучасних педагогів та науковців. У своїх дослідженнях як українські, так і зарубіжні науковці наголошують на розвитку та використанні цифрових технологій в освітньому процесі. Серед таких науковців В. Биков, О. Бочко, О. Буров, А. Гуржій, Т. Коваль, О. Колгатін, А. Коломієць, В.Кремень, С. Кузьменко, Н. Морзе, О. Співаковський, О. Спірін. Вони вивчають і пояснюють важливість та ефективність цифрових технологій в освіті, розробляють шляхи використання цифрових інструментів для підвищення ефективності освітнього процесу та досліджують їхній вплив на якість освіти і розвиток учнів.

Виклад основного матеріалу. Можемо зазначити, що важливими для розвитку цифрових відносин є такі ініціативи: «Європейський цифровий порядок денний», «Європейська стратегія економічного розвитку «Європа 2020: стратегія розумного, сталого та інклюзивного зростання». Ці документи покладені в основу проєкту «Цифровий порядок денний 2020 для України», представленого Радою Міністрів України, який визначає основні пріоритети побудови інформаційного суспільства в нашій країні на основі інтеграції у світовий процес цифровізації.

Цифровізація освіти – один із пріоритетів МОН розвитку можливостей дистанційного навчання. І реальним кроком до неї стало затвердження Концепції цифрової трансформації освіти і науки, яка сприяла забезпеченню закладів освіти цифровою інфраструктурою [1].

Експерти освіти і науки України Сергій Шкарлет зазначив, що: «Сьогоднішня система освіти і науки має зазнати докорінних цифрових змін і відповідати світовим тенденціям цифрового розвитку для успішної реалізації кожною людиною свого потенціалу. На сьогодні дедалі більше професій потребують набуття високого рівня цифрових компетентностей і володіння новітніми технологіями. Ця потреба також поглиблена наслідками пандемії коронавірусу, яка загострила проблему розвитку та опанування технологіями в системі освіти задля забезпечення прав людей на якісну освіту» [8].

Зазначимо, що цифрова трансформація у сфері освіти і науки – це комплексна робота над побудовою екосистеми цифрових рішень у даній сфері, включно зі створенням безпечного електронного освітнього середовища, забезпеченням необхідної цифрової інфраструктури закладів та установ освіти і науки, підвищення рівня цифрової компетентності, цифровою трансформацією процесів та послуг, а також автоматизацією збору і аналізу даних.

Однією з умов удосконалення системи освіти є організація та впровадження в освітню практику інноваційної діяльності, спрямованої на забезпечення ефективності та якості освіти. Інноваційна діяльність в освіті спрямована на розвиток освітньої системи, яка забезпечує високу якість освіти та відповідає вимогам часу і суспільства. Ці цілі можуть бути досягнуті шляхом впровадження інноваційних технологій, застосування новітніх освітніх методів і підходів, використання сучасних цифрових технологій та розвитку креативних підходів до навчання і розвитку молоді [9].

Однією з інновацій сучасної освіти є процес діджиталізації, який передбачає використання комп'ютерних програм, інтерактивних дошок, мультимедійних матеріалів та інших цифрових інструментів для підвищення якості навчального процесу та мотивації студентів до навчання.

Під цифровими освітніми технологіями розуміють використання різноманітних електронних інструментів і програмного забезпечення для підвищення якості освіти та забезпечення доступу до знань для учнів і вчителів.

Перед сучасним вчителем стоїть завдання постійного удосконалення своїх навичок володіння цифровими освітніми технологіями. Про це зазначено і у Професійному стандарті вчителя через розкриття змісту інформаційно – цифрової компетентності вчителя.

Наведемо якими компетентностями повинен володіти сучасний педагог [6]:

- проєктування цілей навчання: формування високотехнологічного середовища, що сприяє ціле покладанню, відстеженню й оцінюванню учнем свого прогресу в навчанні;
- проєктування змісту: визначення інтерактивного змісту, досвіду навчання через відбір і складання навчальних завдань, проєктів, що включають цифрові інструменти й електронні ресурси;
- проєктування оцінювання: відбір і впровадження дієвих способів оцінювання відповідно до цілей і змісту навчання.

Переваги цифрової трансформації освіти очевидні. Однією з найбільш істотних позитивних рис цифровізації освіти є розширення освітнього і дослідницького простору, можливість урізноманітнення форм і методів навчання, спрямованих як на потреби здобувачів освіти, так і на врахування вимог й запитів ринку праці. На великих підприємствах все частіше зустрічаються практики створення корпоративних університетів, власних центрів підвищення кваліфікацій і додаткової освіти. Сформульована ще в XX столітті концепція навчання упродовж життя (Life Long Learning) в умовах глобальної цифровізації набуває вагомого значення для кожної людини.

Зокрема, це забезпечення сприятливих умов для [5]:

- розвитку умінь навчатися самостійно, виокремлювати найбільш цінний матеріал для саморозвитку;
- формування мобільності особистості, умінь швидко адаптуватися до умов, що змінюються непередбачувано і стрімко;
- посилення мотивації до самоосвіти та саморозвитку;
- охоплення різноманітної аудиторії (контент стає персоналізованим), забезпечення співпраці та інтегративності;
- побудови індивідуальної освітньої траєкторії;
- навчання у найбільш зручних умовах.

При діяльності у цифровому освітньому просторі не можна ігнорувати і ризики цифровізації освітнього процесу. На цьому наголошує зокрема Н.Б. Стрекалова, серед проблем вищої освіти виокремлюючи наступні [2]:

- втраті базових когнітивних навичок (вміння читати, рахувати, писати), зниження якості навчання;
- «публічна» модель педагога – викладача, високі вимоги до його психологічних якостей, зростання конфліктів;
- зниження особистісних контактів, «відтік» талановитої молоді і викладачів за кордон, зниження загального рівня підготовки, проблеми контролю якості;
- зміна вимог до змісту навчання, подальша зміна засобів навчання;
- оновлені вимоги до кваліфікації фахівців, зниження потреби в «інтелектуальному» фахівці і «тяжіння» до його технологічного образу, скорочення контингенту вищої освіти;
- рух у бік «освітніх послуг», відхід від фундаментальності, зміна / перерозподіл функцій адміністрації закладів вищої освіти і викладачів, зростання конфліктів, зниження якості навчання;
- втрата статусу вітчизняної вищої освіти, зниження контингенту учнів.

Істотним недоліком онлайн – освіти є також її спрямованість на задоволення короткострокових або, у кращому випадку, середньострокових завдань. Фахівець, який опанував обмежений обсяг знань і не отримав при цьому фундаментальної базової підготовки, може розраховувати тільки на інтелектуальні «надбудови», стійкість яких ілюзорна [7].

Висновки і пропозиції. Отже, цифровізація має значний позитивний вплив на сучасну освіту, сприяючи підвищенню якості та доступності навчання, формуванню високоякісних кадрів для ринку праці та забезпеченню доступу до новітніх технологій та знань. Однак, для успішної реалізації цифровізації необхідно забезпечувати належну підготовку та підтримку педагогічних працівників, а також належну інфраструктуру для цифрової освіти. В цілому, цифровізація є важливим процесом для зміни та поліпшення сучасної освіти. Тому, важливо продовжувати розвивати та підтримувати цей

процес для досягнення кращих результатів у навчанні та формуванні майбутнього покоління кваліфікованих фахівців.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Береда Т. М. Цифровізація як фактор розвитку та вдосконалення дистанційної середньої освіти DOI <https://doi.org/10.32782/tnu-2663-6468/2022.5/03>.
2. Биков В.Ю., Кремень В.Г., Ляшенко О.І. та ін. Науково – методичне забезпечення цифровізації освіти України: стан, проблеми, перспективи. *Вісник України*. 2022. 4(2).
3. Закон України «Про освіту» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#text> (дата звернення 18.03.2023).
4. Князева М.О., Теоретичні засади підвищення рівня цифрової компетентності працівників закладів професійно – технічної освіти. м. Біла Церква. 2022.
5. Колеснікова І. В. Цифровізація освітнього процесу в закладі післядипломної педагогічної освіти DOI <https://doi.org/10.31392/npu-ps.series5.2020.78.25>.
6. Сисоєва С.О. Цифровізація освіти: педагогічні пріоритети. Освіта і суспільство. 2021. С. 8–9 URL: https://naps.gov.ua/ua/press/about_us/2545/.
7. Толочко С. В. Цифрова компетентність педагогів в умовах цифровізації закладів освіти та дистанційного навчання вісник № 13 (169). Серія: Педагогічні науки. 2021.
8. Цифрова трансформація освіти і науки URL: <https://mon.gov.ua/ua/tag/cifrova-transformaciya-osviti-ta-nauki>.
9. Цифровізація як нова реальність України. Юридичний вісник України. URL: <https://lexinform.com.ua/dumka-eksperta/tsyfrovizatsiya-yak-nova-realnist-ukrayiny/>.

УДК 004.4: 681.5: 519.85

В. Л. Крупецький, Л.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ КАРТОПЛІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ НАПІВФАБРИКАТІВ

Робота присвячена модернізації системи автоматизованого керування лінією виготовлення сушеної картоплі. Модернізація лінії з виробництва сушеної картоплі дозволить зменшити кількість відходів, підвищити якість продукції, гарний смак, тривалий термін зберігання та розширити асортимент спеціалізованої продукції функціонального харчування, якими є сушені напівфабрикати. Розроблена математична модель, яка може допомогти зрозуміти вплив керуючих факторів на перебіг технологічного процесу виготовлення сушеної картоплі при виробництві напівфабрикатів, оптимізувати процес сушіння і прийняти обґрунтовані рішення для досягнення бажаного вмісту вологи у висушених скибочках картоплі.

Ключові слова: модель, сушіння картоплі, керування, технологічні параметри, мікроконтролер.

The article is devoted to the modernization of the automated control system for a dried potato production line. The modernization of the dried potato production line will reduce waste, improve product quality, taste, long shelf life, and expand the range of specialized functional food products, such as dried semi-finished products. A mathematical model has been developed that can help to understand the influence of controlling factors on the course of the technological process of making dried potatoes in the production of semi-finished products, optimize the drying process and make informed decisions to achieve the desired moisture content in dried potato slices.

Keywords: model, potato drying, control, technological parameters, control, microcontroller.

Постановка проблеми. Картопля є одним з найпоширеніших продуктів харчування в Україні. Крім того, природні умови для вирощування цього коренеплоду в нашій країні є сприятливими, тому ринок наповнений різними сортами картоплі [1].

Але ритм життя сучасних людей є таким, що потребує скорочення часу на приготування їжі та скорочення відходів виробництва. Тому популярними стали сушені продукти [2]. Вони легкі,

займають малий об'єм, зберігаються якісними тривалий час, їх зручно транспортувати. Особливо важливими ці властивості сушених продуктів стали в умовах воєнного часу, коли військовим на передову потрібно постачати ситну якісну їжу, яка не вимагає багато часу для приготування.

Актуальність роботи полягає в тому, що відсутність цілісної системи керування використанням на виробництві обладнання спричинює меншу продуктивність роботи установок. Модернізація лінії з виробництва сушеної картоплі дозволить зменшити кількість відходів, підвищити якість продукції, гарний смак, тривалий термін зберігання та розширити асортимент спеціалізованої продукції функціонального харчування, якими є сушені напівфабрикати.

Метою роботи є модернізація системи автоматизованого керування лінією виготовлення сушеної картоплі.

Аналіз процесу. Виготовлення сушеної картоплі здійснюється на механізованих лініях, що дозволяють переходити з виробництва одного виду продукту на інший.

Основними процесами цього виробництва є миття, інспектування, калібрування, очищення, теплова обробка, сульфитація, різка, бланширування, сушка. При очищенні і митті відбувається відділення домішок і видалення різних забруднень. При тепловій обробці відбуваються гідролітична дія вологи на сухі компоненти продукту і необоротні зміни білково-вуглеводного комплексу [3].

При сушці видаляється волога і формуються такі зміни в складі і структурі продукту, які визначають його смакові і споживчі властивості. Сушену картоплю випускають в закінченому товарному і споживчому вигляді.

Виробництво сушеної картоплі складається з наступних основних операцій [3–4]:

- прийом сировини;
- очищення (паровим способом);
- сульфитація;
- бланширування;
- сушіння.

Вимоги до картоплі, призначеної для промислової переробки на продукти харчування регламентуються ДСТУ 4993:2008 [5].

Картопля ретельно відбирається за якістю та однорідністю. Вона проходить ретельне очищення та миття, щоб видалити бруд і домішки. У процесі миття особлива увага приділяється нерівностям поверхні, вічкам на бульбах, щоб у них не залишилось жодних забруднень, які можуть надалі перейти в крохмаль і погіршити якість продукції.

Очищення бульб виконують з метою видалення шкірки. Очищення може здійснюватися за допомогою автоматизованого обладнання, яке використовує абразивні ролики або водяні струмені. Переваги має паровий спосіб очищення сировини [6]. Він має високу продуктивність і застосовується для сировини будь-яких форм і розмірів, таких, як картопля. Відходи при паровому способі очищення становлять 7–10% і використовуються на кормові цілі [7].

Сира очищена картопля темніє на повітрі, тому, щоб запобігти потемнінню, її витримують у водному розчині бісульфіту натрію, потім промивають проточною чистою водою [8]. Бісульфіт натрію – це харчова добавка Е 223, яка дозволена до застосування у харчовій промисловості [9].

Очищені машиною бульби надходять на доочищення темних плям і залишок шкірки, яке проводять вручну на спеціальних конвеєрах. Відходи від очищення відводяться у відстійник і направляються на корм худобі.

Повністю очищені бульби потрапляють в овочерізку, де нарізаються брусочками, кубиками, чи пластинами, залежно від потреби. При цьому нарізана картопля промивається водою, щоб змити з поверхні крохмаль.

Підготована таким чином картопля піддається бланшуванню. Бланшування дозволяє зберегти поживні властивості продукту, знищує шкідливі мікроорганізми і запобігає насиченню картоплі жиром при остаточній обробці. Бланшування відбувається гарячою парою з наступним охолодженням крижаною водою [2, 3, 10].

Бланшовані заготовки потрапляють у сушарку, де шляхом продування гарячого повітря позбувається вологи. При виробництві картопляних напівфабрикатів вологість сушених картопляних скибочок зазвичай знижують до рівня, який забезпечує тривалий термін зберігання зі збереженням бажаних якісних характеристик. Конкретний цільовий показник вологості може

змінюватися залежно від продукту та специфікацій замовника, але загальний діапазон вмісту вологи в сушених картопляних скибочках становить від 5% до 15% [2, 11].

Основна частина. Для розробки системи автоматизованого керування лінією виготовлення сушеної картоплі було визначено параметри технологічного процесу, які повинні бути витримані. До цих параметрів відносяться тиск у пароочисній машині; час очищення; тиск у барабанній машині; час сульфитації; температура бланшування; час бланшування; температура сушіння; час сушіння; тиск сушіння.

Кожну ланку технологічного процесу можна вважати локальним об'єктом управління, а всю сукупність змінних, що впливають на подібний об'єкт, можна розбити на регулюючі та контрольовані змінні.

Враховуючи фактори, що впливають на розробку функціональних схем, розроблено функціональну схему керування технологічним процесом сушіння картоплі при виробництві напівфабрикатів. Обґрунтовано встановлення відповідних технічних засобів автоматизації.

Технічні засоби автоматизації були обрані, виходячи з аналізу процесу автоматизації. При виборі технічних засобів автоматизації важливо враховувати точність вимірювання та ціну.

Для визначення послідовності операцій і логіки прийняття рішень, необхідних для регулювання і управління поведінкою системи, розроблено алгоритм системи управління. Він слугує керівною основою для досягнення системою управління намічених цілей. Перед розробкою алгоритму керування важливо мати чітке розуміння динаміки та поведінки системи. Моделювання системи передбачає аналіз взаємодії та взаємозв'язків між різними компонентами системи, давачами, приводами та змінними. Алгоритм включає в себе це розуміння, щоб забезпечити точне представлення та управління системою. Алгоритм встановлює взаємозв'язок між входами і виходами системи управління. Він визначає, як зміни входних змінних або збурень мають бути оброблені і перетворені у відповідні керуючі дії для досягнення бажаної реакції на виході. Алгоритм також визначає дії, які необхідно вжити в нештатних або аварійних ситуаціях для забезпечення безпеки системи, обладнання та персоналу. Механізми виявлення несправностей, діагностики та відновлення можуть бути включені для виявлення та пом'якшення наслідків збоїв або відхилень від норми.

Побудовано блок-схему алгоритму і на основі розробленого алгоритму у середовищі ADAMView розроблена програма роботи контролера.

При виготовленні сушеної картоплі при виробництві напівфабрикатів важливим є вплив керуючих факторів на перебіг технологічного процесу. Для оптимізації процесу сушіння і прийняття обґрунтованих рішень для досягнення бажаного вмісту вологи у висушених скибочках картоплі, розроблено математичну модель процесу сушіння картоплі на основі повного факторного експерименту.

Розробка математичної моделі технологічного процесу сушіння картоплі на основі повного факторного експерименту передбачає наступні кроки [12].

1. Визначення змінних. Необхідно визначити ключові змінні, які впливають на процес. Також необхідно визначити діапазон значень для кожної змінної.

Факторами, які впливають на хід технологічного процесу сушіння картоплі при виробництві напівфабрикатів є температура повітря під стрічками сушарки, тиск пари в сушарці та час сушіння. Функцією відгуку в даному випадку є вологість картоплі після сушіння. Для визначення діапазону значень факторів впливу використані дані параметрів технологічного процесу виготовлення сушеної картоплі при виробництві напівфабрикатів.

2. Планування повного факторного експерименту. Необхідно створити матрицю або таблицю для організації умов і результатів експерименту.

Тиск пари в сушарці позначимо x_1 (МПа); час сушіння – x_2 (год), температуру повітря в сушарці – x_3 (°C). Середнє значення вологості картоплі після сушіння позначимо y_c (%). Матриця планування трифакторного експерименту розроблена з врахуванням вимог щодо тестування всіх можливих комбінацій змінних та їх рівнів

3. Проведення експериментів.

Експериментальні середні значення вологості отримані з таблиць і графіків, приведених в [13]. Числові значення факторів впливу та функції відгуку занесено в таблицю.

4. Аналіз даних. Необхідно переконатися, що дані є точними та узгодженими. Використовуючи статистичні методи для аналізу даних, потрібно визначити значущі фактори та їх взаємодію.

На основі результатів певного факторного експерименту обчислено коефіцієнти регресії. Перевірено значимість коефіцієнтів регресії Перевірено адекватність отриманого рівняння.

5. Розробка математичної моделі. На основі аналізу даних необхідно розробити математичну модель, яка пов'язує кодовані змінні з фізичним вмістом вологи у скибочках картоплі.

В результаті отримано математичну модель технологічного процесу сушіння картоплі, яка пов'язує фізичні параметри технологічного процесу з вмістом вологи у скибочках картоплі:

$$y = 5,6016 + 0,31 \cdot x_1 + 1,1 \cdot x_2 + 0,08 \cdot x_3 - 0,39 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,03 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,00052 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

6. Перевірка моделі. Перевірка розробленої математичної моделі може відбуватись шляхом порівняння її прогнозів з додатковими експериментальними даними, які не були використані на етапі розробки моделі.

Оскільки для розробки моделі були використані дані з довідкової літератури, а не реальний експеримент, для перевірки правильності моделі порівняємо отриманий результат з результатом комп'ютерної програми «Розробка математичної моделі на основі повного факторного експерименту» [14].

Ввівши у програму вхідні дані, отримали математичну модель, приведену на рисунку 1.

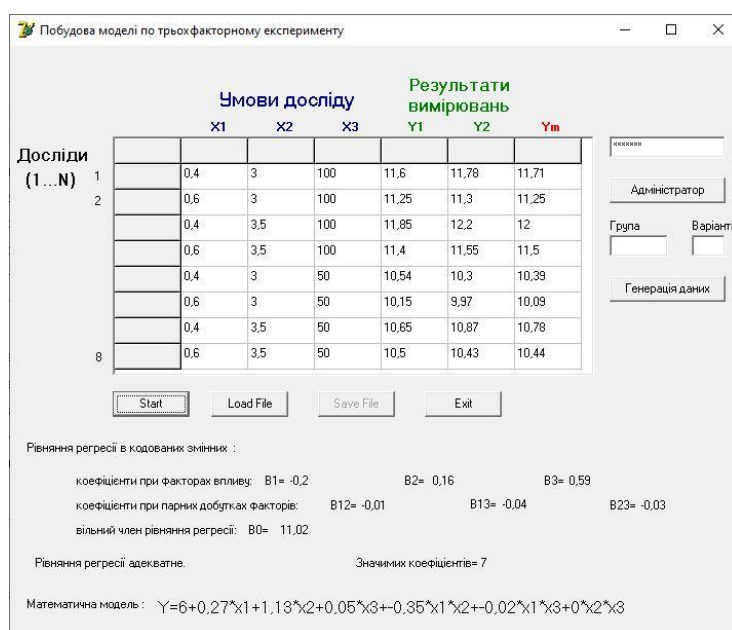


Рисунок 1 – Результат роботи комп'ютерної програми

Як видно, отримана модель близька до результату комп'ютерної програми, отже, отримана математична модель достатньо добре описує досліджуваний технологічний процес. Похибка розрахунку розробленої моделі відносно моделі, отриманої за результатом роботи комп'ютерної програми становить 12%, що є допустимим для подібних розрахунків.

Висновок. Розроблена система автоматизованого керування технологічним процесом сушіння картоплі при виробництві напівфабрикатів дозволить вдосконалити виробництво і керування технологічним процесом для оптимізації виробництва, покращення якості продукції, економії на супутніх витратах. Розроблена математична модель технологічного процесу сушіння картоплі на основі повного факторного експерименту може допомогти зрозуміти вплив керуючих факторів на перебіг технологічного процесу виготовлення сушеної картоплі при виробництві напівфабрикатів, оптимізувати процес сушіння і прийняти обґрунтовані рішення для досягнення бажаного вмісту вологи у висушених скибочках картоплі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Писарєв М. Г., Левківська Т.М., Бандуренко Г.М. Перспективи використання сучасних сортів картоплі у виробництві сушених напівфабрикатів. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. № 3. Том 30 (69) Ч. 2. С. 92-96.

2. Писарев М.Г. Удосконалення технологій переробки сучасних сортів картоплі з отриманням нових напівфабрикатів та консервованих продуктів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к т. наук : 05.18.13. Київ, 2019. 26 с.
3. Спосіб виробництва напівфабрикату з картоплі : пат. 112929 Україна : МПК А23L 19/12, А23В 7/14. № а 2015 04105 ; заявл. 28.04.2015 ; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21
4. Настільна книга виробника та переробника плодоовочевої продукції / Синха Н.К., Хью Н.Г. Київ: Професія, 2018. 896 с.
5. ДСТУ 4993:2008 Картопля для промислового перероблення. Технічні умови : [Чинний від 01.01.2010]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2008.
6. Машины і апарати для очищення і миття сировини. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/lekciya-4.pdf> (дата звернення 26.03.2023).
7. Доцяк В.С. Технологія приготування їжі з основами товарознавства продовольчих товарів: Підручник для проф.-техн. навч. закл. / В. С. Доцяк Київ: Наш час, 2020. 400 с.
8. Що таке сульфитація картоплі і для чого вона потрібна. URL: <https://remontu.com.ua/shho-take-sulfitaciya-kartopli-i-dlya-chogo-vona-potribna> (дата звернення 26.03.2023).
9. Е 223 – Натрію метабісульфіт. URL: <https://uk.dobavkam.net/additives/e-223> (дата звернення 26.03.2023).
10. Машины та обладнання переробних виробництв: навч. посіб./ за ред. О. В. Дацишина. Київ: Вища освіта, 2020. 159 с.
11. Малевич І.Ф., Бандуренко Г.М., Писарев М. Г., Мисюра Т. Г. Інноваційні рішення в технології сушіння картоплі. Наукові праці НУХТ. 2020. Т. 21. № 2. С. 203–210.
12. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. / укладачі: Н.В.Богданова, О.В.Богданов. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 84 ст.
13. Ликов А.В. Теорія сушіння. URL: <https://read.in.ua/book252884/> (дата звернення 16.09.2023).
14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 74703. Комп'ютерна програма «Розробка математичної моделі на основі повного факторного експерименту» / В.В. Лотиш, Л.О. Гуменюк; авторські майнові права належать: Луцький національний технічний ун-т; дата реєстрації 13.11.2017.

УДК 629.3

С. О. Приступа, С. А. Мороз, Р. О. Хомич

Луцький національний технічний університет

E-mail: s.prystupa@lntu.edu.ua

АВТОМОБІЛЬНА СИГНАЛІЗАЦІЯ НА БАЗІ ДІАЛОВОГО КОДУ

Стаття присвячена питанню надійності сучасних автомобільних охоронних систем, оскільки захист транспортного засобу в нинішніх умовах стає досить складною проблемою, обумовленою рядом обставин. Автомобільна сигналізація це важливий компонент системи будь якого автомобіля, рівень надійності якої залежить від рівня секретності системи кодування, що застосовуються під час обміну пакетами даних між радіобрелком та блоком керування сигналізацією. Виходячи з цього, в роботі проведений аналіз перевірки існуючих систем шифрувань, які застосовуються в автомобільних сигналізаціях.

Ключові слова: автосигналізація, безпека, код, доступ, радіозв'язок

The article is devoted to the question of the reliability of modern automobile security systems, since the protection of the vehicle in the current conditions becomes a rather complex problem due to a number of circumstances. Car alarms are an important component of the system of any car, the level of reliability of which depends on the level of secrecy of the coding system used during the exchange of data packets between the radio key fob and the alarm control unit. Based on this, the work analyzes the verification of existing encryption systems used in car alarms.

Keywords: car alarm, security, code, access, radio communication

Постановка проблеми. Автосигналізації – найбільш поширені електронні протиугінні системи, які іноді входять до стандартного оснащення автомобіля. На базі сигналізацій можуть створюватися протиугінні комплекси, які при настанні тривожної події не тільки подають сигнал тривоги, але й розривають одне або декілька кіл автомобіля, виконуючи функції іммобілайзера. Сигналізацію також наділяють безліччю додаткових сервісних можливостей: керування центральним замком, підняття склопідйомників та закриття люка при постановці на охорону, замикання дверей при запуску двигуна або початку руху, режим «вільні руки», дистанційний запуск двигуна, пошук автомобіля на стоянці, гаражний режим та багато іншого інше. Однак, після установки автомобільної сигналізації, відповідно виникає питання – чи легко зламати даний електронний замок. Для того щоб виключити можливість деактивації сигналізації сторонніми особами застосовується кодування передавачів. Рівень секретності кодів різних сигналізацій значно відрізняється. У застарілих сигналізаціях застосовувалися коди з числом комбінацій до 512, підбір такого коду займає менше 1 хвилини. Кількість комбінацій кодів в сучасних сигналізаціях на порядки вище. Проте, зловмисники все ж знаходять способи обходу електронних систем захисту і існує реальна необхідність перевірки стійкості існуючих автомобільних систем захисту до злому.

Мета роботи. Здійснити аналітичний огляд принципів функціонування існуючих охоронних засобів автомобільного транспорту, встановити їх переваги та недоліків і перспективи удосконалення для покращення технічних характеристик, оскільки від рівня надійності автомобільної сигналізації залежить збереження автомобіля від крадіжки. Виходячи з цього виникає необхідність перевірки існуючих шифрувань, які використовуються в автомобільних сигналізаціях, для того щоб впевнитись в надійності чи навпаки в вразливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день застосовані всі існуючі ресурси для захисту автомобільного транспорту, а саме: стільниковий зв'язок, зв'язок через космічні супутники, всі види апаратних і програмних засобів, біометричні параметри людини, тощо. Але з упевненістю можна стверджувати, що досі немає ефективного універсального засобу захисту, який міг би запобігти викраденню автомобіля, і забезпечував безпомилкову ідентифікацію власника або своєчасне його оповіщення.

Протистояння розробників сигналізацій та викрадачів автомобілів почалося ще з часів створення перших автосигналізацій. З появою на ринку нових досконаліших охоронних автомобільних систем удосконалювалися і засоби їх злому.

Перші сигналізації будувалися на статичному коді, який досить легко підбирався. Односторонні сигналізації – це найдешевші і прості моделі сигналізацій, набір функцій в яких мінімальний, але дозволяє керувати центральним замком використовуючи радіобрелок, є функція блокування двигуна, датчик удару тощо.

Радіоканал, за яким передаються дані між сигналізацією і брелоком, має один великий недолік – радіохвилі поширюються не спрямовано і обмін можна прослухати, перебуваючи далеко від власника автомобіля. Такі канали зв'язку називають незахищеними та дані, які за ними передаються, шифрують.

Дані радіоканалу передають у вигляді невеликих послідовностей – пакетів. Кожен пакет можна представити як команду, наприклад, «Відкрий замок», відповідь на команду наприклад, «Замок відкритий».

Оскільки варіантів коду було небагато, то іноді своїм брелоком можна було відкрити чужу машину з такою самою сигналізацією – формати пакетів збігалися. Звичайно, таке кодування ніякого захисту не забезпечувало – достатньо було один раз прослухати пакет, який відповідає команді «Зняти з охорони», щоб потім просто повторивши його отримати доступ до автомобіля.

Напевно, саме тоді з'явилися перші кодграбери – технічні пристрої, призначені для перехоплення, декодування та повторення коду. Для кодграберів статичний код не представляв жодної проблеми, тому невдовзі всі виробники сигналізацій перейшли на динамічне кодування.

Динамічний код відрізняється від статичного тим, що при кожному натисканні на кнопку формат пакета змінюється.

Пакет змінюється за певним законом, який відомий лише сигналізації та прив'язаному до неї радіобрелоку. Це означає, що просто повторити записаний пакет не можна – старі пакети даних сигналізація відкидає.

Коли власник автомобіля натискає кнопку, з брелока на центральний блок сигналізації надходить запит виконання команди (рис.1). Далі блоку керування необхідно переконатися в тому, що команду відправлено саме з брелока власника. Для цього він генерує випадкове число і відправляє його на радіобрелок. Це за певним алгоритмом обробляється і передається назад на блок

керування. У цей час блок керування обробляє те саме число і порівнює його з числом від радіобрелка. У тому й тому випадку, якщо числа збігаються, центральний блок сигналізації виконує команду. Слід зазначити, що конкретний алгоритм, яким виконуються розрахунки над випадковим числом, суто індивідуальний для кожної автосигналізації і закладається у ній ще етапі виробництва та найчастіше є комерційною таємницею.



Рисунок 1 – Динамічний код в автосигналізації

Спочатку здавалося, що цього буде достатньо, і що проблема кодграберів вирішена – але динамічне кодування теж не встояло перед новими викликами.

Перший спосіб злому динамічного коду заснований на заміні коду у сигналізації (кодграбер кодопідмінник), у якому команди постановки та зняття з охорони здійснюються натисканням однієї кнопки. Метод злому полягає у створенні перешкоди та перехопленні сигналу. Коли автовласник виходить із автомобіля та натискає на кнопку радіобрелка, створюється сильна радіоперешкода. Внаслідок чого сигнал з кодом не доходить до блоку керування сигналізації, а перехоплюється та копіюється кодграбером. Здивований водій натискає повторно кнопку, але процес повторюється, і другий код також перехоплюється. З другого разу автомобіль ставиться на захист, але команда надходить з пристрою зломисника. Коли власник спокійно йде у своїх справах, викрадач посиляє другий, раніше перехоплений код і знімає машину із захисту. Очевидно, захист від такого злому – це використання виробниками автосигналізацій алгоритмів формування повідомлень із прив'язкою до часу створення та часу дії коду, що забезпечить старіння збереженого у зломисника пакета даних. В цьому випадку повідомлення має старіти за дуже короткий термін, який не дозволить злочинцю скористатися ним. Але, у разі злому алгоритмів шифрування, зломисник має можливість створити дублікат легітимного радіобрелка.

Другий спосіб – аналітичний і ґрунтується на вразливості, залишеній в алгоритмі виробниками автосигналізацій. Наприклад, однакові ключі у штатних систем деяких автомобілів. Це дає змогу виготовляти так звані алгоритмічні кодграбери. Такі пристрої визначають по цифровому сигналу радіобрелка бренд і марку сигналізації, далі йде порівняння з базою заводських «секретних» кодів (або мануфактурних кодів), і врешті-решт кодграбер починає працювати відповідно до отриманих даних, стаючи повним дублікатом радіобрелка власника. Заводська база даних формується з допомогою витоків інформації від самих виробників, і з допомогою деяких уразливостей (наприклад, однакові ключі цілої серії автосигналізацій).

Викладення основного матеріалу. Багато виробників автомобільних систем охорони розробляли власні динамічні коди, вносячи різні поліпшення. Деякі з них так і не розкриті, і начебто можуть використовуватися в охоронних системах. Однак слід розуміти, що жоден динамічний код не гарантує захист від злому.

На сьогоднішній день досить надійним вважається так зване «діалогове кодування», що вимагає двостороннього каналу зв'язку (наявності приймача і передавача, як в основному модулі, так і в брелоку). Завдяки наявності двостороннього каналу зв'язку можна організувати обмін ключами шифрування на основі протоколу Діффі-Хеллман [2]. Ідентифікація радіобрелка проводиться у кілька етапів. Розглянемо докладніше процес встановлення/зняття з охорони автомобіля. Шифрування автосигналізації (рис. 2,3) ведеться в режимі діалогу між радіобрелком і блоком керування автосигналізації, що розміщений в автомобілі. Коли власник натискає кнопку, з брелока подається запит на виконання команди. Щоб блок керування упевнився, що команда поступила саме з брелока власника, він посиляє на брелок сигнал з випадковим числом. Це число обробляється за певним алгоритмом і відсилається назад до блоку керування. В цей час блок керування обробляє те саме число і порівнює свій результат з результатом, одержаним від радіобрелка. За умови рівності значень, блок керування виконує команду.



Рисунок 2 – Узагальнений вид діалогового коду [2]

Система, прийнявши динамічно кодовану команду («пароль»), не виконує її відразу (рис. 3), а надсилає запит на підтвердження – випадкове число, також динамічно кодоване. Радіобрелок його приймає і за допомогою секретного ключа та складного алгоритму формує «відгук», знову динамічно перекодує та шле системі. Якщо відгук правильний, система виконує команду, причому процес займає доли секунди. На відміну від радіобрелка кодграбер в руках навіть найзапеклішого викрадача не знає алгоритму зміни коду, ключа шифрування і не здатний сформувати відгук за відведений на це час.



Рисунок 3 – Структура діалогового коду

Алгоритм, за яким виконуються розрахунки на радіобрелку і блоці керування, індивідуальний для кожної автосигналізації і закладається в неї на стадії виготовлення.

Розглянемо простий алгоритм:

$$Y = X \cdot T3 \cdot X \cdot S2 \cdot X \cdot U \cdot H, \quad (1)$$

де T , S , U і H – це числа, які закладаються в сигналізацію на заводі. X – випадкове число, яке передається на брелок для перевірки.

Y – число, яке розраховується блоком керування і радіобрелком за заданим алгоритмом.

Автовласник сигналізації натискає на кнопку і з брелка на блок керування передається запит на зняття автомобіля з охорони. У відповідь блок керування генерує випадкове число (для

прикладу візьмемо число 846) і відправляє його на брелок. Після цього блок керування і радіобрелок виконують розрахунок числа 846 за алгоритмом (для прикладу розрахуємо по приведеному вище простому алгоритму).

Для розрахунків приймемо: $T = 29$, $S = 43$, $U = 91$, $H = 38$.

$$846 \cdot 24389 - 846 \cdot 1849 + 846 \cdot 91 - 38 = 19145788$$

Число (19145788) радіобрелок відправляє блоку керування. Одночасно з цим блок керування виконає такий же розрахунок. Числа співпадуть, блок керування підтверджує команду брелока, і автомобіль знімається з охорони.

Навіть для розшифрування елементарного алгоритму, приведеного вище, знадобиться чотири рази (у нашому випадку в рівнянні чотири невідомих) перехопити пакети даних.

Перехопити і розшифрувати пакет даних діалогової автосигналізації практично неможливо. Для кодування сигналу використовуються так звані хеш-функції – алгоритми, які перетворюють рядки довільної довжини до 32 букв і цифр.

Нижче приведені результати шифрування чисел за найпопулярнішим алгоритмом шифрування MD5. Для прикладу було взято число 846 і його модифікації:

MD5 (846) = 84f7e69969dea92a925508f7c1f9579a;

MD5 (841) = 02a32ad2669e6fe298e607fe7cc0e1a0;

MD5 (146) = a5e00132373a7031000fd987a3c9f87b.

Результати кодування чисел, що відрізняються тільки однією цифрою, абсолютно не схожі один на одного.

Висновки. На сьогоднішній день на ринку представлена значна кількість сигналізацій, які відрізняються, як за комплектацією так і за способами шифрування радіосигналу, що передається від радіобрелка до блоку керування автосигналізацією і навпаки, проте, повноцінний захист від електронного злому забезпечує лише автосигналізація принцип кодування інформації в якій, заснований на діалоговому коді з індивідуальними ключами шифрування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Козіна Г. Л. Криптографія від історії до сучасних стандартів: навч. Посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 192 с. ISBN 978-617-529-278-5
2. Налаштування систем StarLine у режимі SLAVE. URL: <https://starline.in.ua/ua/slave-rezhim-starline-abo-chogo-osterigatisja.html> (Дата звернення 07.10.2023р.)
3. Kaiwartya O., Kaushik K., Gupta S. K., Mishra A., Kumar M. (eds.). Security and Privacy in Cyberspace Springer, 2022. 228 p. (Blockchain Technologies). ISBN 978-981-19-1959-6.

УДК 681.5:621

М.С. Прищепя Л.Ю. Федік

Луцький національний технічний університет

E-mail: pryshchepa.m.s@gmail.com

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАВДАНЬ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

У даній статті розглянуто та проаналізовано актуальність виробництва аміаку та доцільність автоматизації цього процесу. Висвітлено основні етапи технологічного процесу, матеріали та обладнання необхідні для виготовлення аміаку. З'ясовано технологічні параметри від яких суттєво залежить якість і кількість виготовленої продукції. Подано вимоги до системи автоматизованого управління технологічним процесом під час виробництва аміаку. Вказано можливості та перспективи подальших наукових досліджень у цій сфері.

Ключові слова: аміак, виробництво, технологічний процес, автоматизація, параметри.

M.S. Pryshchepa L.Yu. Fedik. This article highlights and analyzes the relevance of ammonia production and feasibility of automating this process. The main stages of the technological process, provision of materials and equipment in the production of ammonia are highlighted. The key parameters on which the quality and quantity of the produced products significantly depend are clarified? And the requirements for the system of automated control of the technological process in the production of ammonia are presented. The possibilities and prospects of further scientific research in this field are shown.

Key words: ammonia, production, technological process, automation, parameters.

Постановка проблеми. Аміак - це надзвичайно важлива речовина у сучасному світі. Завдяки своїм властивостям вона використовується у багатьох галузях. Аміак застосовується у сільському господарстві, як добриво і сировина для виробництва азотних добрив, у важкій промисловості у якості середовища для травлення металів, як сировина для вибухівки та полімерів, а також виступає холодоагентом для промислових холодильників.

У світі щорічно виготовляється понад 180 млн. тонн аміаку, і це важливий показник його значущості. А потужності виробництва аміаку в Україні становить близько 4,8 млн тонн/рік: Одеський припортовий завод виробляє до 3,4 млн тонн/рік, Черкаський «Азот» - 1 млн тонн/рік, «Рівнеазот» - 0,4 млн тонн/рік. Основні способи базуються на газі: SMR – паровий риформінг метану (Steam Methane Reforming); ATR – автотермічний риформінг метану (Autothermal Reforming) [1].

З початку XX сторіччя виробництво аміаку здійснюється за допомогою методу Фріца Габера і Карла Боша (або інакше Габера-Боша), тобто прямий синтез азоту і водню із застосування каталізатора для пришвидшення реакції.

Важливою властивістю цього процесу є його безвідходність. Реакція утворення аміаку з водню і азоту рівноважна та екзотермічна, тому при високих температурах (необхідних для досягнення прийнятної швидкості реакції) рівновага зміщується в бік азоту і водню, і вихід аміаку за один прохід каталізатора в промислових умовах не перевищує 14—16%. Тому утворену суміш охолоджують до конденсації аміаку, рідкий аміак відділяють сепаратором, а решту суміші водню і азоту направляють на рециркуляцію — знову нагрівають і пропускають через каталізатор. Таким чином, у процесі Габера-Боша теоретичний вихід у реакції синтезу аміаку становить 100 %.

Попри простоту реакції, виробництво аміаку потребує великої кількості енергії, адже у реакторі потрібно підтримувати температуру від 350 до 500 °C та тиск приблизно 340 атм. Для підтримання таких умов і нормального функціонування системи потрібно багато теплообмінних апаратів, компресор високого тиску, і велика потужність реактора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми.

Дослідження щодо модернізації та автоматизації процесу синтезу аміаку проводили такі вчені як: Купіна О.А. (2023), Лорія М.Г. (2023), Целіщев О.Б. (2023), Гурін О.М. (2023), Хілл А. (2015), Торренте-Мурсіано Л. (2015), Бабіченко А.К. (2008), Тошинський В.І. (2008), Пирсенкова Є.А. (2008).

Ними було досліджено, що головна проблема синтезу аміаку під час виробництва полягає у пошуку оптимальних параметрів і умов роботи для максимальної продуктивності процесу за обмежених ресурсів. В якості каталізатора під час виробництва виступає оксид заліза, який є ефективним, але для її збільшення використовуються промотори, калій та алюміній, що надають більшої активності залізу, а також магній, хром або молібден. Знайшли застосування каталізатори на основі рутенію, ренію та нікелю [2, 3, 4].

Згідно інформаційних даних тільки в 2013 році на підприємстві «Рівнеазот» була модернізація підприємства. У результаті якої цехи були повністю переведені на так звану «розподілену систему управління». А саме агрегат ПСГ-1 (підготовка синтез-газу) і агрегати СА-1 та СА-2 (синтез аміаку). Раніше на розподілену систему управління були переведені агрегати – ПСГ-3 (підготовка синтез-газу) та СА-3 (синтез-аміаку). Управління технологічними процесами на «Рівнеазот» відбувається зі спеціальної автоматизованої робочої станції оператора. А робоча та мікропроцесорна техніка дозволяє проводити пускові операції, забезпечує автоматичне ведення всіх технологічних режимів, процесів і захисні блокування за будь-яких відхилень від норм.[5]

Зв'язок теми статті з важливими науковими та практичними проблемами.

До винайдення способу створення аміаку, суспільство дуже боялося неврожаю, навіть більше, існували дослідження, які показували, що без підвищення врожайності, їжі буде не вистачати. Аміак цю проблему вирішив. Завдяки цьому відкриттю Ф. Габер отримав Нобелівську премію.

Проте це не єдина область застосування цього продукту. У хімічній промисловості він використовується для синтезу азотних сполук. Також для аміаку знайшли роль у медицині, як засіб швидкої допомоги для збудження дихання і виведення із непритомного стану. Крім того, препарат застосовують при укусах комах, для миття рук хірурга, а також як блювотний засіб.[6]

Вже зараз існують проекти з використанням аміаку, як паливо для двигунів.

Цілями статті (постановкою завдання) є аналіз технологічного процесу виробництва аміаку (синтезу) для обґрунтування завдань його автоматизації з метою забезпечення надійного керування процесом.

Викладення основного матеріалу.

Процес виробництва аміаку здійснюється згідно технологічної схеми зображеної на рисунку

1. Як вже зазначалося основними матеріалами для його виробництва є азот, водень, каталізатор, зазвичай, залізо.

У даній системі азотно-воднева суміш, що містить 0,3% аміаку під тиском 31,5 МПа змішується з циркуляційним газом, який надходить із теплообмінника з сепаратором 6, і подається у трубний простір випарника 7. Рідкий аміак, що використовується у якості охолоджувача, надходить у міжтрубний простір випарника 7. Суміш охолоджується до температури 15 °С. Сконденсований аміак і охолоджений газ потрапляють у сепарційну частину теплообмінника з сепаратором 6, рідкий аміак відділяється, а газ, проходячи через апарат 6 нагрівається до 30 °С та направляється у відцентровий компресор високого тиску 5, де доводиться до тиску 34,5 МПа.

Далі газ поступає в теплообмінник 3, нагрівається до температури 200 °С, та направляється до реактора синтезу 1. Перед реактором потік розділяється на три частини. Основний потік потрапляє в кільцевий зазор між корпусом реактора та корпусом каталізаторної коробки, спускається до низу апарату та проходить через теплообмінник, який розташований там. Другий потік надходить у нижню частину апарату для регулювання температури. Третій потік направляється до радіальної зони для змішування з потоком, що пройшов синтез [8].

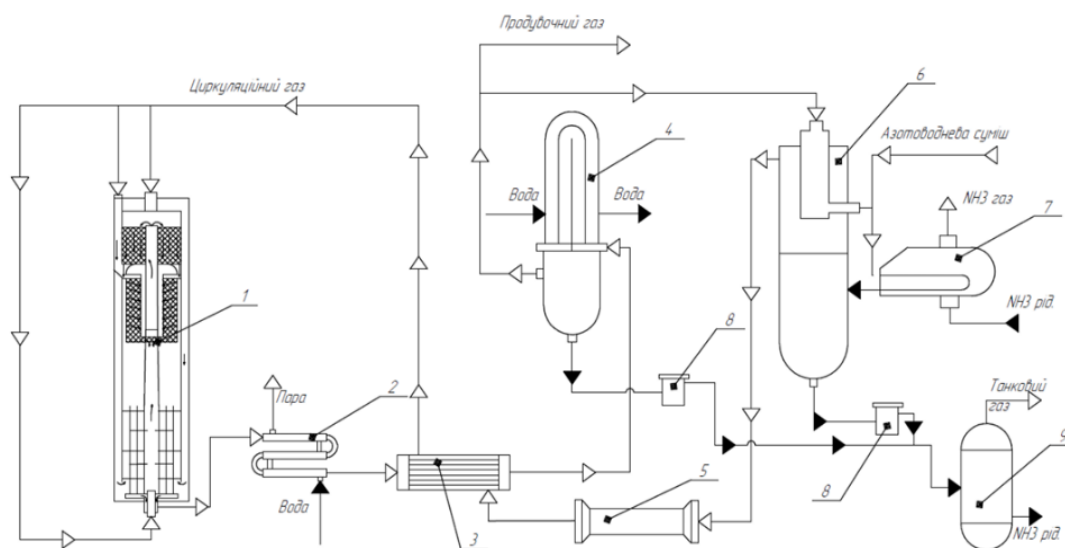


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва аміаку:

1 – реактор; 2 – паровий котел; 3 – теплообмінник; 4 – конденсатор-сепаратор; 5 – відцентровий компресор високого тиску; 6 – теплообмінник із сепаратором; 7 – випарник; 8 – магнітний фільтр; 9 – збірник

Нагріта до 420 °С суміш газів проходить через два шари каталізатора, в яких проходить реакція синтезу аміаку, потрапляє до нижнього теплообмінника і охолоджується до 380 °С.

Після реактора суміш надходить до парового котла 2, де генерується насичена пара під тиском 3,8 МПа. На виході з котла суміш має температуру 200 °С. Далі суміш прямує до теплообмінника 3 і при виході має температуру 60 °С. У конденсаторі-сепараторі 4 температура зменшується до 30 °С. У сепарційній зоні цього пристрою відбувається конденсація аміаку, який надходить до збірника 9, проходячи магнітний фільтр 8, який очищує аміак від каталізаційного пилу. У збірнику тиск аміаку зменшується до 1,8 МПа, після чого продукт надходить на склад [9-11].

Для синтезу якісного аміаку слід дотримуватися параметрів технологічного процесу, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри технологічного процесу виробництва аміаку

№ з/п	Параметр, що контролюється	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення %
1	Температура у випарнику	° C	15	±1
2	Температура в теплообміннику з сепаратором	° C	30	±1
3	Температура у першому теплообміннику	° C	200	±1
4	Температура в реакторі	° C	400	±1
5	Температура у другому теплообміннику	° C	380	±1
6	Тиск у паровому котлі	МПа	3,8	±1
7	Температура у паровому котлі	° C	200	±1
8	Температура в теплообміннику реактора	° C	60	±1
9	Температура у конденсаторі-сепараторі	° C	30	±1
10	Тиск у збірнику	МПа	1,8	±1

Розглянувши та проаналізувавши технологічний процес виробництва аміаку у вигляді “чорної скриньки”, зображеної на рисунку 2, визначаємо вхідні, керуючі та вихідні параметри системи а також збудуючі фактори.

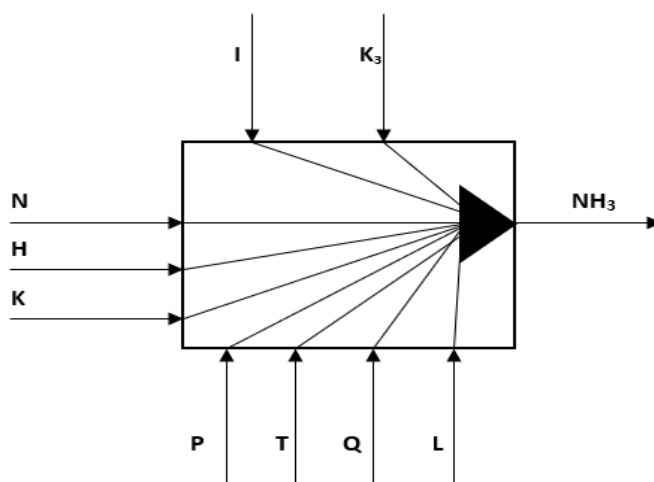


Рисунок 2 – Схема взаємозв'язку параметрів

Вхідні параметри:

N – азот

H – водень

K – каталізатор

Вихідний параметр:

NH₃ – аміак

Збудуючі впливи:

I – енергозабезпечення

K₃ – зношеність каталізатора

Керуючі впливи:

P – тиск у агрегатах

T – температура у агрегаті

Q – якість сировини

L – співвідношення реагентів

Зміна хоча б одного із вхідних чи керуючих параметрів на недопустиму похибку позначається на вихідних параметрах готового продукту

Висновки. Аміак є надзвичайно важливим продуктом сьогодення, оскільки широко використовується в народному господарстві. Дослідження покращення процесу автоматизації є першочерговими, проте складними. Оскільки розробок покращення оригінального технологічного процесом відбулося небагато.

Згідно аналізу технологічного процесу виробництва аміаку можна зробити висновок, що виробнича лінія складається з агрегатів різного типу, а параметрами його проходження є температура в реакторі та теплообмінниках, тиск у котлі, збірнику, трубопроводах і реакторі та витрати у агрегатах.

Найважливішою вимогою до системи автоматизованого управління синтезу аміаку є забезпечення надійного керування процесом, що дозволить системі працювати ефективно та без перебоїв.

Перспективами подальшої роботи у даному напрямку є розробка функціональної схеми автоматизації, вибір датчиків, виконавчих механізмів і контролерів, розробка електричної схеми підключення всіх елементів системи автоматизації до контролера, розробка програмного забезпечення для

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Потенціал аміаку. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/03/2/697594/> (дата звернення: 08.11.2023)

2. Купіна, О. А., Лорія, М. Г., Целіщев, О. Б., Гурін, О. М. (2023). Дослідження доцільності використання дискретної системи керування з моделлю вузлом охолодження та конденсації у виробництві аміаку. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, (2 (278)), 112-118

3. Hill A. K., Torrente-Murciano L. Low temperature H₂ production from ammonia using ruthenium-based catalysts: Synergetic effect of promoter and support. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015. Т.172-173. С.129–135. URL:<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.02.011> (дата звернення: 15.11.2023)

4. Троянчук Б., Федік Л. Використання САПР у проектуванні систем автоматизації. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2021. № 45. С. 39–43. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-06> (дата звернення: 08.11.2023).

5. Модернізація підприємства «Рівнеазот». URL: <https://azot.rv.ua/press/novyny/136-rivneazot-modernizuiє-vyrobnytstvo-amiaку> (дата звернення: 15.11.2023)

6. Аміаку розчин 10%. URL: <https://mozdocs.kiev.ua/likiview.php?id=6562>

7. Теплообмінники. URL: <https://opeks.ua/ua/kozhuxotrubni-teploobminniki/%09/> (дата звернення: 10.11.2023)

8. Синєглазов В. М., Сергєєв І. Ю. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник. К.: НАУ, 2015. 444 с.

9. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: Навч.посібник. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. С. 9

10. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене. К.: Вид. Ліра-К, 2021. С. 9

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення соняшникової олії. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, на мові контактно-релейних схем – програму функціонування контролера, електричну схему зовнішніх з'єднань, схему сигналізації, щит керування та схему його живлення. Розроблено блок-схема керування та контролю, і програмне забезпечення контролера вищого рівня в SCADA-системі Genie 3.0. Розроблені заходи захисту обслуговуючого персоналу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Проведено розрахунок економічної ефективності системи автоматизації.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, соняшник, олія, автоматизована система керування, алгоритм, програма, контролер, SCADA-система.

O. Reshetylo, K. Grudetskiy, D. Sosna. Automated system for controlling the technological process of sunflower oil production

The work is devoted to the design of an automated control system for the technological process of sunflower oil production. An analysis of the technological process as an object of management was carried out, and research tasks were defined. A functional automation scheme has been developed, technical means of automation and a controller have been selected. A basic electrical circuit diagram for connecting sensors and actuators to the controller modules has been developed, in the language of contact-relay circuits - a program for the operation of the controller, an electrical circuit diagram of external connections, an alarm circuit, a control panel, and its power supply circuit. Developed command and control block diagram and higher level controller software in Genie 3.0 SCADA system. Measures have been developed to protect service personnel from dangerous and harmful production factors. The economic efficiency of the automation system was calculated.

Keywords: technological process, production, sunflower, oil, automated control system, algorithm, program, controller, SCADA system.

Постановка проблеми.

Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва соняшникової олії може мати значення в сучасній промисловості і сільському господарстві з кількох причин:

1. Підвищення продуктивності: автоматизація дозволяє підвищити продуктивність виробництва за рахунок оптимізації процесів, зменшення людських помилок та підвищення швидкості виробництва.
2. Зменшення витрат: автоматизовані системи дозволяють ефективніше використовувати ресурси, знижуючи витрати на робочу силу та сировину. Це може призвести до значного зменшення загальних виробничих витрат.
3. Покращення якості продукції: автоматизація допомагає уникнути людських помилок і забезпечити стабільну якість продукції.
4. Моніторинг та керування в реальному часі: сучасні системи керування дозволяють відстежувати стан обладнання та технологічних параметрів в реальному режимі часу, що дає можливість швидко реагувати на зміни у процесі виробництва.
5. Забезпечення безпеки: автоматизовані системи можуть виявляти потенційно небезпечні ситуації та автоматично вживати заходи для їх усунення, що сприяє покращенню безпеки на робочому місці.
6. Зменшення впливу на навколишнє середовище: автоматизація може допомогти знизити витрати ресурсів та зменшити викиди, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

7. Збільшення конкурентоспроможності: впровадження автоматизованих систем може допомогти підприємству стати більш конкурентоспроможним на ринку завдяки зниженню витрат і покращенню якості продукції.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва соняшникової олії показав, що керування технологічним процесом здійснюється застарілими технічними засобами автоматизації та частково в ручному режимі, таким чином це не дозволяють забезпечити необхідну точність підтримання температурних режимів, має значну інертність, тому не може забезпечити високу якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

«В практиці виробництва рослинних масел існують два принципово різних способу витягання масла з рослинної масловміної сировини: механічне віджимання масла – пресування і розчинення масла в легколетючих органічних розчинниках – екстракція. Ці два способи виробництва рослинних масел використовуються або самостійно, або в поєднанні одного з іншим.

В даний час для витягання масла спочатку використовують спосіб пресування, при якому одержують 3/4 всього масла, а потім – спосіб екстракції, за допомогою якого витягують решту масла.

Пресують масло на безперервно діючих пресах шнекового типу (форпресах і експелерах). При збільшенні тиску частинки мезги зближуються, масло віджимається, а пресований матеріал ущільнюється в монолітну масу макуха. При цьому в макусі залишається 5...8 % масла (від маси макухи).

В процесі екстракції в залишку, який називають шротом, залишається не більше 0,8...1,2 % масла. Як розчинники застосовують екстракційний бензин, гексан, ацетон, дихлоретан та інші. Краще всього застосовувати бензин з інтервалом температури кипіння 70...85 °С, що дозволяє відгонити його з масла за більш м'яких умов.

Масло, яке знаходиться на поверхні розкритих кліток, при обмиванні бензином легко розчиняється в ньому. Значна кількість масла знаходиться всередині нерозкритих кліток або всередині замкнутих порожнин (капсуль).

Витягання цього масла вимагає проникнення розчинника всередину клітки і капсуль і виходу розчинника в оточуючу середовище. Процес цей відбувається за рахунок молекулярної і конвективної дифузії.

В результаті екстракції одержують розчин масла в розчиннику, званий міцелієм, і знежирений матеріал – шрот. Концентрація масла в міцелію 12...20%.

З екстрактора (шнекового або стрічкового) міцелій направляють на фільтрацію для видалення з неї механічних домішок. Відфільтрований міцелій і шрот направляють на відгонку з них розчинників. Цю операцію називають дистиляцією, яка проходить в дві стадії. Спочатку відганяють основну частину розчинника при 80...90°C до концентрації масла в міцелію 75...80 %. Потім дистиляцію здійснюють у вакуумі при 110...120 °С з продуванням гострої пари.

Процес очищення масла від небажаних груп ліпідів і домішок називають рафінуванням.

Механічне рафінування включає різні фізичні методи: відстоювання, фільтрацію і центрифугування.

Гідратація масла – обробка водою для осадження слизистих і білкових речовин.

Лужним рафінуванням називають обробку масел лугом.

Адсорбційне рафінування (вибілювання) – видалення і освітлення масла порошкоподібними речовинами (адсорбентами – глиною, кремнеземними сполуками, силікагелем, вугіллям і ін.).

Дезодорування – усунення неприємного запаху масла методом фракційної відгонки, заснованої на відмінностях в температурах кипіння тригліцеридів і ароматизуючих речовин» [1].

«Виробництво рослинного масла складається з наступних стадій:

- очищення і сушка насіння;
- відділення чистого ядра та його подрібнення;
- пропарювання і жарення мезги;
- витягання олії (пресування і екстрагування);
- очищення (рафінування) олії;
- фасування і зберігання» [1].

Схема лінії з виробництва соняшникової олії приведена на рисунку 1.1.

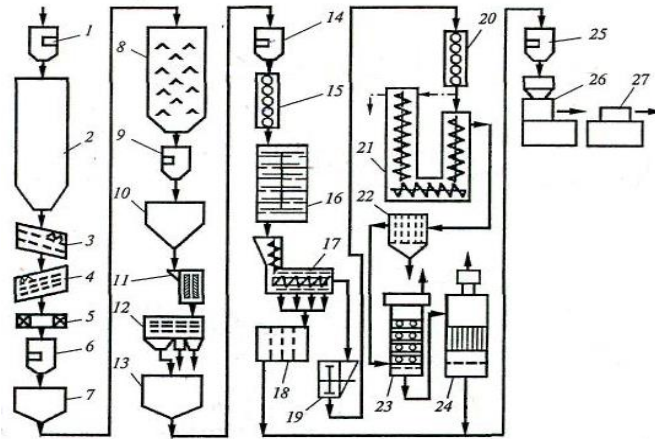


Рисунок 1.1 – Схема лінії з виробництва соняшникової олії

«Насіння соняшнику, що поступають на короткочасне зберігання в силос 2, попередньо зважується на вагах 1. Воно може містити велику кількість домішок, тому перед переробкою їх двічі очищають на двох- і трьохситових сепараторах 3 і 4, а також на магнітному уловлювачі 5. Домішки рослинного походження, які відокремлюються на сепараторах, збирають і використовують в комбікормовому виробництві.

Обчищене від домішок насіння зважуються на вагах 6 і подаються у витратний бункер 7, звідки вони транспортуються в шахтну сушарку 8, що складається з кількох зон. Спочатку насіння сушать, а тоді охолоджують.

В процесі теплової обробки їх вогкість зменшується з 9...15 до 2...7 %. Температура насіння під час сушіння становить близько 50 °С, після охолодження – 35 °С. Висушене насіння проходить контроль на вагах 9, а тоді прямує в силоси 2 на тривале зберігання або в проміжний бункер 10 для подальшої переробки.

Подальша переробка насіння полягає в максимальному відділенні оболонки від ядра. Цей процес передбачає дві окремі операції: лушення (обрушення) насіння і власне відділення оболонки від ядра (відвіювання, сепарація). Насіння шелушать на дисковому млині 11, куди вони поступають з проміжного бункера 10. Суміш, одержана з насіння після млина, складається з частинок, різних за масою, формою, парусністю і розмірах. В суміші присутні цілі ядра, їх осколки, ряд різноманітних по величині і формі частинок оболонки і, нарешті, ціле насіння. Тому для відділення оболонки від ядра в основному застосовують аспіраційні віялки – повітряно-ситові сортувальні машини. З такої машини 12 ядро подається в проміжний бункер 13, а вся решта частин суміші обробляється для виділення цілих ядер і уламків насіння соняшнику, яке разом з цілими ядрами поступає на подальшу переробку.

Після зважування на вагах 14 ядра соняшнику подрібнюються на п'ятивальцевому верстаті 15. Процес подрібнення може здійснюватися за один раз або за два рази – заздалегідь і остаточно. При подрібненні відбувається руйнування клітинної структури ядер соняшнику, що необхідне для створення оптимальних умов для як найповнішого і швидкого витягання олії при подальшому пресуванні або екстрагуванні.

Продукт подрібнення – мезга – з верстата 15 поступає в жаровню 16, в якій за рахунок волого-теплової обробки досягається оптимальна пластичність продукту і створюються умови для полегшення віджимання олії на пресах. При жаренні вогкість мезги знижується до 5...7 %, а температура підвищується до 105...115 °С.

З шнекового преса 17, в який після жаровні подається мезга, виходять два продукти: олія, яка містить значу кількість частинок ядра, і тому очищується у фільтрпресі 18, і макуха, що містить 6,0...6,5 % олії, яке необхідне витягнути з нього. Тому надалі гранули макухи піддаються подрібненню в молотковій дробарці 19 і вальцовому верстаті 20, а продукт подрібнення – екстрагуванню в апараті екстракції 21. Апарат має дві колонії, з'єднані перемичкою, в яких розташовані шнеки, що транспортують частинки макухи з правої колонії в ліву. Протитечею до руху макухи переміщується екстрагуюча речовина – бензин, що є летким розчинником. У зв'язку з тим, що бензин в суміші з повітрям запалюється при температурі близько 250 °С, на екстракційних заводах температура перегріву технологічної пари не повинна перевищувати 220 °С.

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

За допомогою дифузії олію витягується з розірваних кліток макухи, розчиняючись в бензині. Суміш олії, бензину і деякої кількості частинок витікає з правої колони екстрактора 21 і прямує у відстійник або патронний фільтр 22.

З лівої екстрагуючої колони апарату 21 виводиться знежирений продукт, який називається шротом. Після витягання з нього залишків бензину шрот прямує на комбікормові заводи.

Очищений від твердих частинок розчин олії в бензині – міцелій – подається на дистиляцію. В попередньому дистиляторі 23 міцелій нагрівається до 105-115 °С, і з нього при атмосферному тиску частково відбираються пари бензину. В остаточному дистиляторі 24, який працює під розрідженням, з міцелія відділяються залишки бензину, і очищена олія подається на ваги 25. Після вагового контролю олія подається в пакувальну машину 26, а в машині 27 пляшки з фасованою олією складаються в ящики» [1].

Параметри технологічного процесу виробництва соняшникової олії приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Параметри технологічного процесу виробництва соняшникової олії

№ з/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Допустимі межі	Відхилення
1.	Температура в жаровні	°С	110	± 5
2.	Температура в апараті екстракції	°С	220	± 2
3.	Температура нагрівання міцелію	°С	105-115	± 5
4.	Тиск у попередньому дистиляторі	Па	101324	± 2
5.	Температура в сушарці	°С	55-30	± 5
6.	Вологість в сушарці	%	2-15	± 1
7.	Температура нагрівання міцелію	°С	110	± 5

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва соняшникової олії можна зробити наступні висновки.

Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом виробництва соняшникової олії мають ряд недоліків, а саме вони обмежуються лише візуальним контролем та ручним керуванням і регулюванням технологічних параметрів, частково відсутня сигналізація та технологічний захист. Присутні значні відхилення технологічних параметрів та часу протікання процесів.

Для забезпечення високої продуктивності лінії та якості готової продукції потрібно:

1. провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
2. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
3. обґрунтувати вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
4. розробити електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
5. розробити програмне забезпечення для контролера;
6. розробити програмне забезпечення вищого рівня для оператора;
7. провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Виклад основного матеріалу.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва соняшникової олії як об'єкта керування, показав, що основними технологічними операціями, що суттєво впливають на якість готової є маса ядра соняшника, що поступає на лінію. Керуючими параметрами є температура нагрівання міцелію, температура жарення мезги та тиск у попередньому дистиляторі.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 2.

Основними технологічними стадіями виробництва соняшникової олії є очищення зерна, сушіння, жарення, подрібнення, екстракція, фільтрація, дистиляція та фасування олії.

При подачі напруги на пускач NS 1-1, вмикається електродвигун приводу і насіння надходить на ваги 1, завантажується і поступає в силос 2. Сигнал з датчика витрати FQIS 2-1 поступає на аналоговий вхід контролера. Рівень насіння соняшника в силосі 2 контролюється датчиком верхнього LE 2-2 та нижнього LE 2-3 рівня. Перед обробкою насіння двічі очищують на двох- і трьохситових сепараторах 3, а також на магнітному вловлювачі 4. Електродвигуни приводів сепараторів вмикаються за допомогою пускачів NS 3-1 та NS 3-2, а магнітного сепаратора NS 4-1. Очищене від домішок насіння зважується на вагах 1 і надходить у витратний бункер 5. Сигнал з датчика витрати FQIS 4-2 поступає на аналоговий вхід контролера. Верхній рівень насіння соняшника в бункері 5 контролюється датчиком верхнього LE 5-1, а нижній – LE 5-2. При подачі напруги на пускач NS 5-3 відкривається заслінка бункера і насіння транспортується в шахтну сушарку 6, де сушиться, а тоді охолоджується. Температура насіння вимірюється датчиком TE 6-1, а вологість – MR 6-2, сигнали з яких поступають на аналогові входи контролера. При подачі напруги на пускач NS 1-4, відкривається вентиль і насіння потрапляє на ваги 1, звідки – в силос 7. Сигнал з датчика витрати FQIS 1-3 поступає на аналоговий вхід контролера. Верхній рівень в силосі 7 контролюється датчиком LE 7-1, сигнал з якого поступає на дискретний вхід контролера. З силосу 7 насіння надходить на дисковий млин 8, після чого воно обробляється на повітряно-сортувальній машині 9, звідки подається в бункер 5. Електродвигун приводу дискового млина вмикається пускачем NS 8-1, а повітряно-сортувальної машини 9 – NS 9-1. Верхній рівень в бункері 5 контролюється датчиком рівня LE 5-3, сигнал з якого поступає на дискретний вхід контролера. Після відкриття вентилу пускачем NS 1-5 насіння зважується на вагах 1 та направляється на подальшу обробку. Сигнал з датчика витрати FQIS 5-4 поступає на аналоговий вхід контролера.

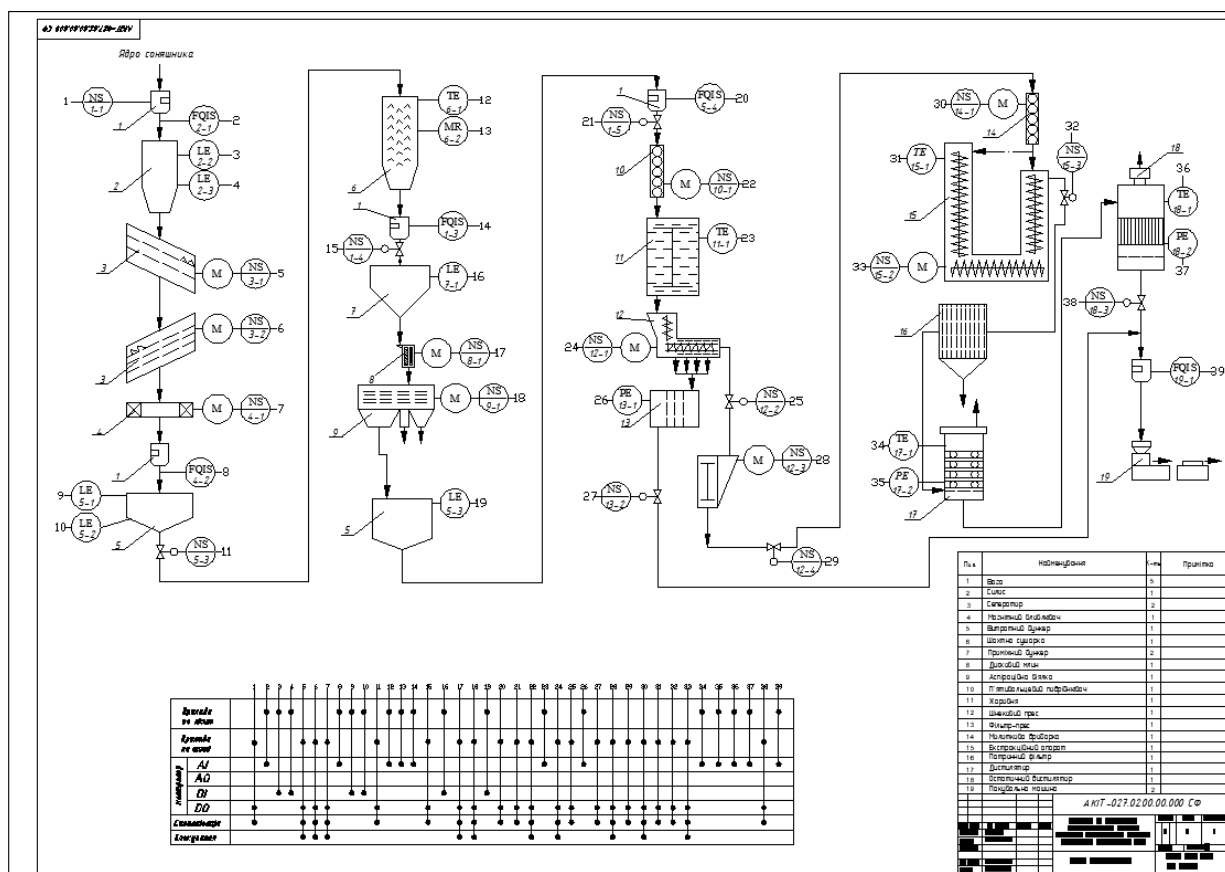


Рисунок 2. – Функціональна схема автоматизації

Подрібнення ядер соняшнику здійснюється на п'ятивальцевому верстаті 10, електродвигун приводу якого вмикається пускачем NS 10-1. Далі продукт подрібнення – мезга потрапляє в жаровню 11, температура в якій вимірюється датчиком TE 11-1, сигнал з якого поступає на аналоговий вхід контролера.

Після цього мезга поступає в шнековий прес, електродвигун приводу якого вмикається пускачем NS 12-1.

Масло з шнекового преса надходить у фільтр-прес, в якому вимірюється тиск датчиком PE 13-3, сигнал з якого поступає на аналоговий вхід контролера. При відкритті електроклапана пускачем NS 12-2, мезга надходить у молоткову дробарку, електродвигун приводу якої вмикається пускачем NS 12-3. Далі при відкритті електроклапана пускачем NS 12-4, мезга надходить з молоткової дробарки поступає у вальцевий верстат 14, електродвигун приводу якого вмикається пускачем NS 14-1, звідки макуха потрапляє у екстракційний апарат 15.

В екстракційному апараті, куди надходить макуха, температура перегріву технологічної пари не повинна перевищувати 220 °С. Електродвигун приводу екстракційного апарата вмикається пускачем NS 15-2. Значення температури екстракційному апараті контролюється датчиком TE 15-1, сигнал з якого поступає на аналоговий вхід контролера.

З правої колони екстрактора розчин масла в бензині – міцелій, при відкритті електроклапана пускачем NS 15-3, потрапляє спочатку в патронний фільтр 16, після чого подається на дистиляцію в попередній дистилятор 17. Температура в ньому вимірюється за допомогою датчика TE 17-1, а тиск – PE 17-2, сигнали з яких поступають на аналогові входи контролера.

Очищена олія з поступає в остаточний дистилятор 18, звідки після відкриття електроклапана пускачем NS 18-3 подається на ваги 1 та в пакувальну машину 19 для фасування в тару. Сигнал з датчика витрати FQIS 19-1 поступає на аналоговий вхід контролера.

В розробленій автоматизованій системі керування:

- для вимірювання ваги сипучих матеріалів на різних стадіях технологічного процесу використовується електромагнітний витратомір Keli XSB;
- для вимірювання рівнів у силосі, проміжному бункері та витратних бункерах використовується датчик рівня дискретного типу SE5-10SAE-XLT;
- для вимірювання температури у шахтній сушарці, жаровні, екстракційному апараті, дистиляторі та остаточному дистиляторі використовується датчик температури MBT 3720;
- для вимірювання вологості у шахтній сушарці використовується датчик вологості SH-2;
- для вимірювання тиску у прес-фільтрі, дистиляторі та остаточному дистиляторі використовується датчик тиску Danfoss MBS 1700;
- для ввімкнення електродвигунів приводів технологічного обладнання лінії та відкриття електроклапанів використовуються магнітні пускачі АСКО ПМ 4-95;
- для під'єднання датчиків витрати, рівня та температури використовуються два 8-канальні модулі аналогового вводу ADAM-4017;
- для під'єднання контакторів використовуються три 16-канальні модулі дискретного вводу/виводу ADAM-4050;
- для під'єднання контакторів використовуються два 16-канальні модулі дискретного вводу/виводу ADAM-4520;
- для забезпечення стабільного живлення всіх модулів контролера використовується блок живлення моделі CS-10-24 з вихідною напругою 24 В та потужністю 10 Вт.

На рисунку 3 приведена принципова електрична схема зовнішніх з'єднань модулів контролера з блоком живлення, датчиками та виконавчими механізмами.

Всі модулі контролера під'єднані до одного блока живлення CS-10-24 напругою 24 В постійного струму потужністю 10 Вт, який підключений до мережі змінного струму напругою 220 В.

До першого модуля аналогового вводу ADAM-4017 під'єднані датчики ваги FQIS 2-1, FQIS 4-2, FQIS 1-3, FQIS 5-4, FQIS 19-1 та датчики температури TE 6-1, TE 11-1 і TE 15-1.

До другого модуля аналогового вводу ADAM-4017 під'єднані датчики температури TE 17-1, TE 18-1, датчик вологості MR 6-2 та датчики тиску PE 13-1, PE 17-2 і PE 18-2.

До першого модуля дискретного вводу/виводу ADAM-4050 під'єднані датчики рівня LE 2-1, LE 2-3, LE 5-1, LE 5-2, LE 7-1 і LE 5-3, та пускачі NS 1-1, NS 3-1, NS 3-2, NS 4-1, NS 5-3, NS 1-4 і NS 8-1.

До другого модуля дискретного вводу/виводу ADAM-4050 під'єднані пускачі NS 9-1, NS 1-15, NS 10-1, NS 12-1, NS 12-32, NS 12-3 та NS 13-2.

До третього модуля дискретного вводу/виводу ADAM-4050 під'єднані пускачі NS 12-4, NS 14-1, NS 15-3, NS 15-2 та NS 18-3.

Для передачі даних на персональний комп'ютер та всі модулі контролера під'єднані за двопровідниковою схемою (DATA+ та DATA-) до модуля перетворення інтерфейсів RS-232 в RS-422/485 ADAM-4520.

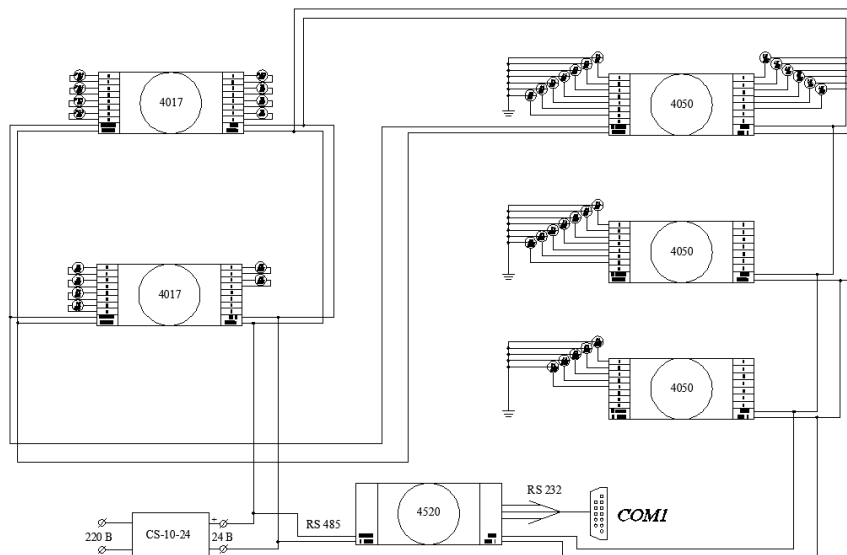


Рисунок 3 – Принципова електрична схема

Програмне забезпечення вищого рівня для модулів контролера ADAM серії 4000 реалізовано в SCADA-системі Genie 3.0 в формі стратегії.

Для зчитування інформації датчиків з аналоговим вихідним сигналом (ваги, температури, вологості та тиску) використані блоки аналогового вводу AI, а для датчиків з дискретним вихідним сигналом (рівня) – блок дискретного вводу DI.

Для передачі сигналу на виконавчі механізми (пускачі) використано блоки дискретного виводу DO.

Мнемосхема розроблена в Редакторі задач на основі блок-схеми керування і контролю приведена на рисунку 4.

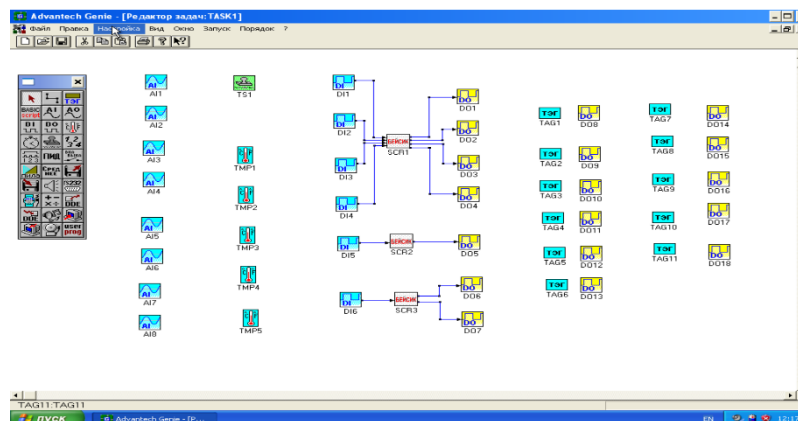


Рисунок 4 – Мнемосхема стратегії

Для виводу дати на панель керування оператора використано блок «Мітка часу» TS1. До блока аналогового вводу AI1 підключаємо датчик витрати FQIS 2-1. До блока аналогового вводу AI2 підключаємо датчик витрати FQIS 4-2. До блока аналогового вводу AI3 підключаємо датчик вологості MR 6-2. До блока аналогового вводу AI4 підключаємо датчик витрати FQIS 1-3. До блока аналогового вводу AI5 підключаємо датчик тиску PE 13-1. До блока аналогового вводу AI6 підключаємо датчик тиску PE 17-2. До блока аналогового вводу AI7 підключаємо датчик тиску PE 18-2. До блока аналогового вводу AI8 підключаємо датчик витрати FQIS 19-1. До блока вимірювання температури TMP1 підключаємо датчик температури TE 6-1. До блока вимірювання температури TMP2 підключаємо датчик температури TE 11-1. До блока вимірювання температури TMP3 підключаємо датчик температури TE 15-1. До блока вимірювання температури TMP4 підключаємо датчик температури TE 17-1. До блока вимірювання температури TMP5 підключаємо датчик температури TE 18-1. До блока дискретного виводу DO1 підключаємо пускач NS 1-1. До блока дискретного виводу DO2 підключаємо пускач NS 3-1. До блока дискретного виводу DO3 підключаємо пускач NS 3-2. До блока дискретного

виводу DO4 підключаємо пускач NS 4-1. До блока дискретного виводу DO5 підключаємо пускач NS 5-3. До блока дискретного виводу DO6 підключаємо пускач NS 8-1. До блока дискретного виводу DO7 підключаємо пускач NS 9-1. До блока дискретного виводу DO8 підключаємо пускач NS 1-5. До блока дискретного виводу DO9 підключаємо пускач NS 10-1. До блока дискретного виводу DO10 підключаємо пускач NS 12-1. До блока дискретного виводу DO11 підключаємо пускач NS 12-2. До блока дискретного виводу DO12 підключаємо пускач NS 12-3. До блока дискретного виводу DO13 підключаємо пускач NS 12-4. До блока дискретного виводу DO14 підключаємо пускач NS 13-2. До блока дискретного виводу DO15 підключаємо пускач NS 14-1. До блока дискретного виводу DO16 підключаємо пускач NS 15-2. До блока дискретного виводу DO17 підключаємо пускач NS 15-3. До блока дискретного виводу DO18 підключаємо пускач NS 18-3.

Для підключення виконавчих елементів до блоків дискретного виводу використано блоки «ТЕГ» TAG1-TAG11.

Алгоритми обробки інформації для датчиків рівня описані на мові програмування Basic Script в блоках SCR.

До блока дискретного вводу DI1 підключаємо датчик рівня LE 2-2, до блока дискретного вводу DI2 підключаємо датчик рівня LE 2-3, до блока дискретного вводу DI3 підключаємо датчик рівня LE 5-1, а до блока дискретного вводу DI4 підключаємо датчик рівня LE 5-2. До каналу 0 блока SCR1 підключаємо блок дискретного виводу DO1, а до каналу 1 – блок дискретного виводу DO2, до каналу 2 – блок дискретного виводу DO3, а до каналу 3 – блок дискретного виводу DO4 (рис. 5).

До блока дискретного вводу DI5 підключаємо датчик рівня LE 7-1. До каналу 0 блока SCR2 підключаємо блок дискретного виводу DO5 (рис. 6).

До блока дискретного вводу DI6 підключаємо датчик рівня LE 5-3. До каналу 0 блока SCR3 підключаємо блок дискретного виводу DO6, а до каналу 1 – блок дискретного виводу DO7 (рис. 7).

Панель керування оператора розроблена в Редакторі задач приведена на рисунку 8.

Після запуску стратегії на виконання оператор на панелі керування натискає кнопку «Старт», після чого повзунковими регуляторами задає значення температури в шахтній сушарці та жаровні. Якщо датчик рівня ємкості не спрацював, то на панелі індикатор червоного кольору, а якщо спрацював, то – зеленого (рис. 9). На панелі також відображається значення температури в екстракційному апараті та дистиляторі. Для зупинки технологічного процесу оператор на панелі натискає кнопку «СТОП».

Проведений розрахунок економічної ефективності показав, що для впровадження розробленої автоматизованої системи керування необхідно придбати засоби контролю, автоматизації і керування на суму 141602,21 грн., загальні капітальні витрати на впровадження автоматизованої системи становлять 254883,98 грн.

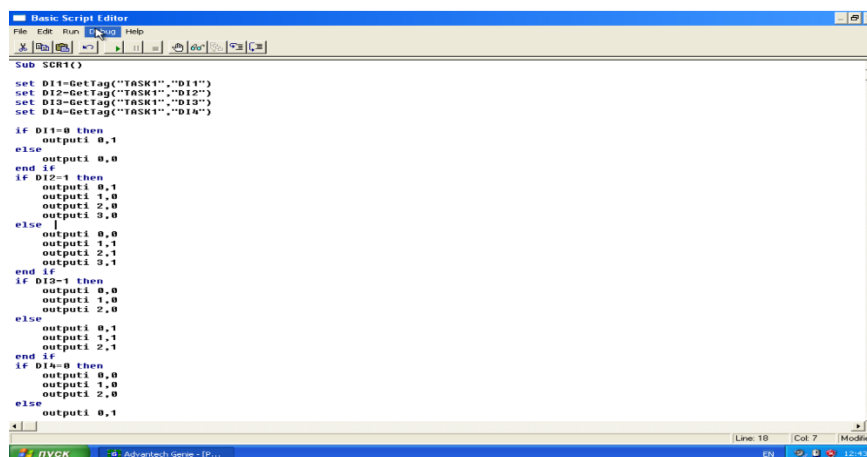


Рисунок 5 – Програма в блоці SCR1 на мові Basic Script

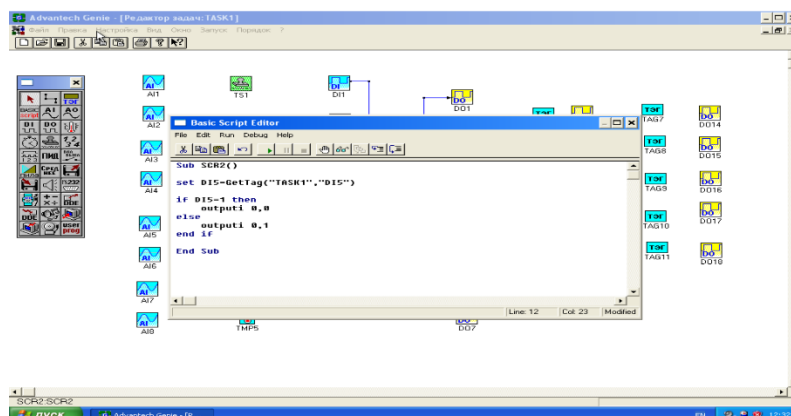


Рисунок 6 – Програма в блоці SCR2 на мові Basic Script

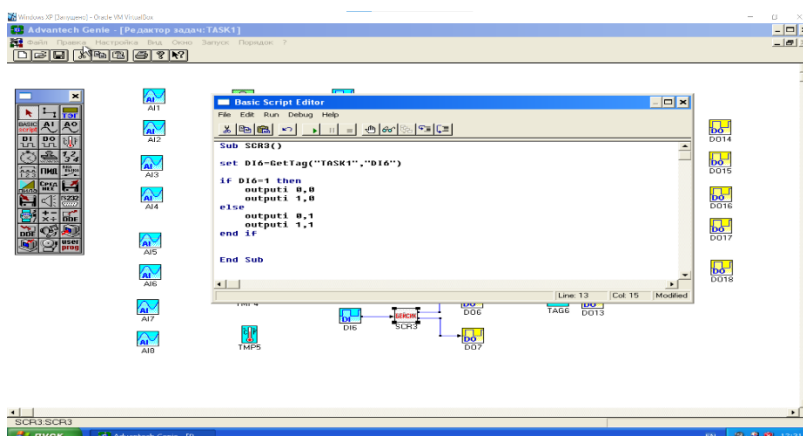


Рисунок 7 – Програма в блоці SCR3 на мові Basic Script

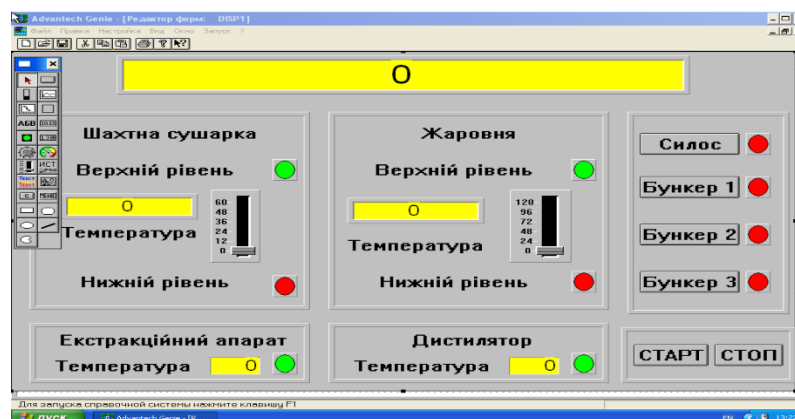


Рисунок 8 – Панель керування оператора

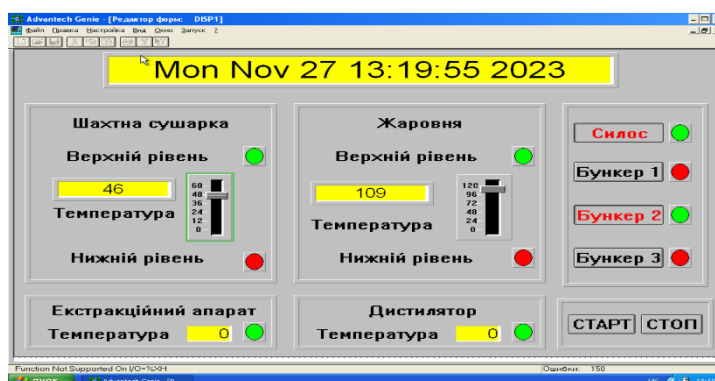


Рисунок 9 – Протікання технологічного процесу

Висновки: Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва соняшникової олії, дозволить підвищити точність вимірювання та регулювання технологічних параметрів, а також збільшить надійність функціонування технологічного обладнання в цілому завдяки аналізу даних про значні відхилення і коливання технологічних параметрів відносно допустимих меж. Кінцевим результатом модернізації має бути забезпечення високої стабільності якісних характеристик соняшникової олії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гончаренко Г.М., Дуб В.В., Гончаренко В.В. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв. Довідник. К.: Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
2. Тензодатчик ваги Keli XSB 300-500 кг (Normal) URL: <https://ves.com.ua/uk/tenzodatchik-vagi-keli-xsb-300-500-kg-normal> (дата звернення 09.11.2023).
3. Датчик рівня SE5-10SAE-XLT 220VAC URL: https://remix.in.ua/ua/p1599720751-datchik-urovnya-se5.html?source=merchant_center&gad_source=4&gclid=CjwKCAiA9ourBhAVEiwA3L5RFp0hT704SsUQhGT3-6hP9WogUMfhu_IPLNyrmnpv9Zk5Wita_oPE9hoCYA4QAvD_BwE (дата звернення 09.11.2023).
4. Датчик температури MBT 3270 URL: https://ianv.com.ua/category/category-danfoss/promyshlennaya-avtomatika/datchiki-temperaturi/datchik-temperaturi-mbt-3270?gclid=CjwKCAiA9ourBhAVEiwA3L5RFtkeSQV18CtwpPAQLqe0l5zLHe7yWH-Z7yUOvzHCof1kNYCpA3VosxoCK1QQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Perf_Max-Turboweb (дата звернення 09.11.2023).
5. Датчик вологості HS-2 10605 URL: https://electrokom.kiev.ua/product/datchik_vlazhnosti_hs-2?srsId=AfmBOorlhE89Tr-2m5G_hZsHvmYbZlCS2xC74PH_A3VSV3_ir0kb1oRsmWI (дата звернення 09.11.2023).
6. Датчик тиску Danfoss MBS 1700 1/4" (060G6100) URL: https://termozona.com.ua/ua/copy_datchik-davleniya-danfoss-mbs-3200-1-2/23019/?srsId=AfmBOopVFK1k9qphmySFbp--maLMq3cIwY5CtFrZUHkoIz0Hd4SenH51g6I (дата звернення 09.11.2023).
7. Магнітний пускач АСКО ПМ 4-95 220В URL: https://amperok.com.ua/magn%D1%96tnij_puskach_asko_pm_4_95_220_v_a0040010015 (дата звернення 09.11.2023).
8. 8-ми каналний модуль аналогового вводу Advantech ADAM-4017 з інтерфейсом RS-485 і Modbus/RTU URL: <https://www.proxis.ua/ru/product/8-ch-analog-input-module-advantech-ADAM-4017/> (дата звернення 10.11.2023).
9. Дискретний модуль ADAM-4050 URL: <https://www.proxis.ua/uk/product/digital-io-module-advantech-ADAM-4050/> (дата звернення 10.12.2021).
10. Модуль ЦАП ADAM-4024 URL: <https://www.proxis.ua/ru/product/ADAM-4024/> (дата звернення 10.12.2021).
11. Модуль RS232/485 ADAM-4520 URL: <https://www.proxis.ua/uk/product/ADAM-4520/> (дата звернення 10.12.2023).
12. Блок живлення: імпульсний на рейці DIN; 10Вт; 24ВDC; 0,42А; IP20; CS-10-24 URL: <https://www.tme.eu/ua/details/cs-10-24/bloki-zhivlennia-dlia-shini-din/cobi-electronic/s-10-24/> (дата звернення 19.11.2023).

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА

Розроблена автоматизована система керування технологічним процесом високотемпературної обробки молока. Проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту управління. Впровадження створеної автоматизованої системи управління не лише призведе до підвищення продуктивності технологічної лінії, але й покращить якість готової продукції та екологічність виробництва. Вибрані технічні засоби автоматизації та мікроконтролера. Розроблена принципова електрична схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера. На основі контактно-релейних схем розроблена програма функціонування мікроконтролера. Також була розроблена електрична схема зовнішніх з'єднань, схема сигналізації, щит керування та схема його живлення.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, високотемпературна, обробка, молоко, автоматизована система керування, алгоритм, програма, контролер.

O. Reshetylo, O. Zamurujeva. Automated system for controlling the technological process of high-temperature milk processing

An automated control system for the high-temperature processing of milk has been developed. An analysis of the technological process as the control object has been conducted. The implementation of the created automated control system will not only lead to increased productivity of the technological line but also enhance the quality of the finished product and the environmental sustainability of the production. Automation tools and a microcontroller have been selected. The principal electrical scheme connecting sensors and executive mechanisms to the controller modules has been designed. A program for the microcontroller's operation has been developed based on relay contact circuits. Additionally, electrical schemes for external connections, signaling, the control panel, and its power supply have been devised.

Keywords: technological process, production, high-temperature treatment, milk, automated control system, algorithm, program, controller.

Постановка проблеми.

При проведенні аналізу технологічного процесу високотемпературної обробки молока, виявлено, що керування цим процесом виконується за допомогою застарілих технічних засобів автоматизації та частково в ручному режимі. Це призводить до недостатньої точності у підтриманні температурних режимів, великої інерційності, що у свою чергу не дозволяє забезпечити високу якість продукції.

Розробка автоматизованої системи управління технологічним процесом високотемпературної обробки молока має важливе значення у сучасній промисловості з кількох причин:

- підвищення продуктивності: автоматизація сприяє підвищенню продуктивності виробництва через оптимізацію процесів, зменшення помилок людей та прискорення виробництва;
- зменшення витрат: автоматизовані системи дозволяють ефективніше використовувати ресурси, що призводить до зменшення витрат на робочу силу та сировину, тим самим знижуючи загальні виробничі витрати;
- покращення якості продукції: автоматизація допомагає уникнути людських помилок та забезпечує стабільну якість продукції;
- моніторинг та керування в реальному часі: сучасні системи керування дозволяють відстежувати стан обладнання та технологічних параметрів в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни у виробничому процесі;
- забезпечення безпеки: автоматизовані системи можуть виявляти потенційно небезпечні ситуації та автоматично вживати заходи для їх усунення, покращуючи безпеку на робочому місці.
- зменшення впливу на навколишнє середовище: автоматизація може допомогти зменшити витрати ресурсів та викиди, сприяючи екологічній стійкості;

– збільшення конкурентоспроможності: впровадження автоматизованих систем може зробити підприємство більш конкурентоспроможним за рахунок зниження витрат та покращення якості продукції.

З урахуванням цих факторів, розробка автоматизованої системи управління технологічним процесом високотемпературної обробки молока є актуальною для підприємств цієї галузі, особливо в умовах зростаючого попиту на молоко та необхідності зниження витрат і покращення якості продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Якість молока і молочних продуктів багато в чому залежить від своєчасності їх обробки і переробки, оскільки молоко є швидкопсувним продуктом.

З метою збереження молока в свіжому вигляді в період доставки споживачам його піддають первинній обробці безпосередньо на фермах. Ця обробка включає наступні технологічні операції: фільтрування, охолодження, зберігання та облік. В деяких випадках до них додаються пастеризація, сепарація і нормалізація. Останні операції в більшій степені відносяться не до обробки, а до переробки.

Технологічні операції з переробки молока мають на меті змінити його початкові властивості і отримати питне молоко, вершки, сир, масло, сир та інші продукти. Переробку молока здійснюють на деяких молочних фермах, зазвичай розташованих поблизу міст і які поставляють молочну продукцію безпосередньо в торгову мережу, а також на підприємства молочної промисловості.

В Україні більше половини отриманого молока переробляється на масло, 35% – на питне молоко і кисломолочні продукти, з останньої частини виробляють сири, бринзу, морозиво, консервоване, сухе та згущене молоко, вершки і інші. Переробка молока здійснюється на спеціальних технологічних лініях.

Залежно від фізико-хімічних і мікробіологічних властивостей молоко поділяється на два сорти і на несортове, згідно ГОСТ 13264-70 (таблиця 1).

Таблиця 1 – Вимоги до молока згідно ГОСТ 13264-70 [1]

Показники	I сорт	II сорт	Несортове
1	2	3	4
Щільність не менше, г/см ³	1,027	1,027	1,027
Кислотність, °Т	16-18	19-20	не більше 21
Ступінь чистоти за еталоном (не нижче за групу)	1	2	2
Забрудненість бактеріями за редуктазною пробою (не нижче за клас)	1	2	3
Температура при прийманні, °С	Не вище 10	не враховується	
Зовнішній вигляд	Однорідна рідина без осаду і пластівців		
Запах і смак	Властиві свіжому сирому молоку без сторонніх присмаків. Допускається слабо виражений кормовий присмак		
Колір	Від білого до світло-жовтого		

Несортове молоко і молоко II сорту з кислотністю вище 19 °Т направляється на переробку в сир та інші кисломолочні продукти. Молоко, що поступає в торгову мережу, згідно ГОСТ 13267-67, поділяється на цілісне, нормалізоване, відновлене, вітамінізоване (жирність 3,2 %), а також підвищеної жирності і топлене (жирність 6 %), білкове (жирність 2,5 %). Щільність його повинна бути нижче 1,027 г/см³.

Операціями первинної обробки молока є очищення від сторонніх домішок і відділення вершків від молока.

Ультрависокотемпературна обробка є на сьогоднішній день одним з найбільш досконалих методів отримання продуктів з тривалим терміном зберігання. УВТ оброблений продукт при відповідній упаковці здатний зберігатися до шести місяців при звичайній температурі. Виробник продукту отримує ширший ринок збуту при спрощеному транспортуванні. У роздрібній торгівлі зникає необхідність зберігання і транспортування при низькій температурі.

Проведеними дослідженнями встановлено, що молоко після такої обробки трохи відрізняється від пастеризованого за показниками, що впливають на якість продукту [1]. У той же час, потрібно відмітити, що при стерилізації в автоклаві, де необхідний триваліший термін температурної обробки, втрата вітамінів значно більша.

Особливості організації виробництва УВТ – відпрацьованого молока на відміну від стерилізації в автоклаві дозволяє створити автоматизоване потокове виробництво з високою продуктивністю.

За даними досліджень і досвіду експлуатації установок УВТ обробки встановлено, що для отримання продукції високої якості необхідне проведення наступних операцій [1]:

- попередній нагрів і механічне очищення від білків, що дестабілізуються;
- гомогенізація для підвищення стійкості молочної емульсії;
- пастеризація для підвищення термостійкості;
- короточасна стерилізація при температурі більше 135 °С.

Таким чином, установка УВТ-обробки є складною багато параметричною системою, що складається з взаємозв'язаних елементів - насосів, теплообмінників, регуляторів, а також пристроїв для механічної обробки продукту.

Фахівцями «ОКБ ОСКОН» розроблена оригінальна методика створення програм, що дозволяють проводити тепло-гідрравлічні розрахунки і моделювати роботу складних технологічних установок теплової обробки.

Базовий варіант установки в комплектації з гомогенізатором змінної продуктивності і фасувальним апаратом схеми «ULTRACLEAN», для м'якої порційної упаковки, розрахований для середніх (міських або районних) молокозаводів, що випускають якісні продукти для соціальних споживачів і покупців з середнім достатком.

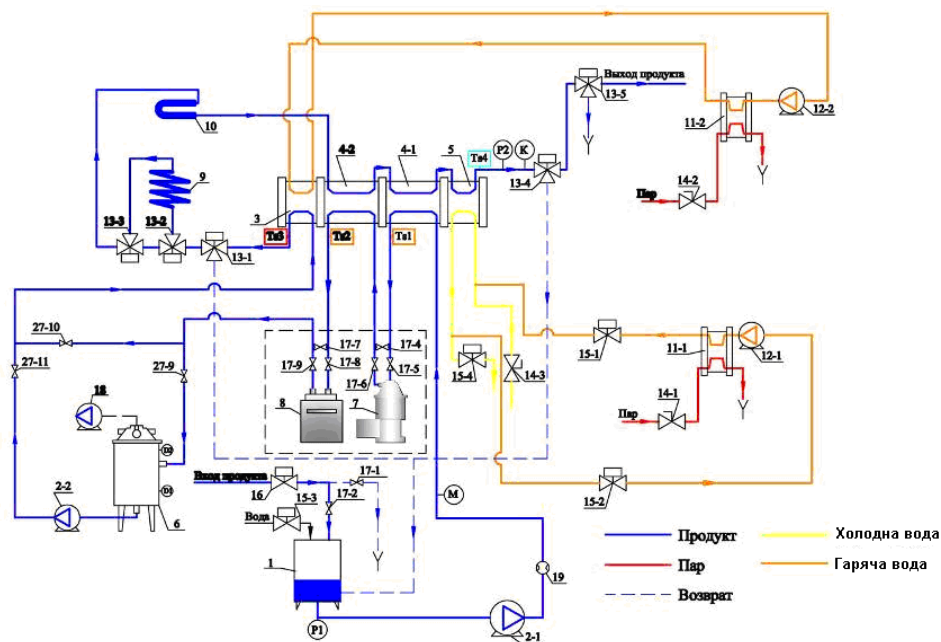


Рисунок 1 – Технологічна схема високотемпературної обробки молока

Система автоматизації, що розробляється в даному проекті, повинна забезпечувати виконання наступних функцій:

- облік отриманого молока;
- контроль заданих рівнів в ємкостях;
- забезпечення і контроль необхідного тиску в секції стерилізації і контурі теплоносія;
- забезпечення і контроль рівності тиску в секціях регенерації;
- контроль та підтримання температури пастеризації молока;
- контроль часу пастеризації молока;
- контроль та підтримання оптимальної температура молока при сепарації;
- контроль та підтримання заданої жирності молока;
- облік відвантаженого молока;

- запуск промивання системи у відповідності із заданими графіком та вручну;
- захист від аварійних режимів, автодіагностика і тестування;
- можливість переведення системи на ручне керування з пульта оператора.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу високотемпературної обробки молока можна зробити наступні висновки.

Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом високотемпературної обробки молока мають ряд недоліків, а саме вони обмежуються лише візуальним контролем та ручним керуванням і регулюванням технологічних параметрів, частково відсутня сигналізація та технологічний захист. Присутні значні відхилення технологічних параметрів та часу протікання процесів.

Для забезпечення високої продуктивності технологічного процесу та якості готової продукції потрібно:

- провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
- обґрунтувати вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
- розробити електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
- розробити програмне забезпечення для контролера;
- розробити щит керування та схему його живлення;
- провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Виклад основного матеріалу.

Основною задачею, яку повинна вирішити автоматизація технологічного процесу високотемпературної обробки молока є забезпечення його необхідними складовими, а саме – подачею пари і холодної води із заданими параметрами.

Автоматизація технологічного процесу високотемпературної обробки молока передбачає наступні контури регулювання:

- 1) регулювання температури пастеризації молока;
- 2) регулювання жирності молока;
- 3) регулювання температури зберігання молока.

Основні вхідні параметри технологічного процесу високотемпературної обробки молока:

- 1) температура молока;
- 2) кислотність молока;
- 3) кількість молока.

Основним збурюючим параметром є кислотність молока.

Вихідними параметрами технологічного процесу є:

- 1) кількість молока на виході;
- 2) жирність молока на виході.

З наведеної схеми (рис. 2) видно, що технологічний процес високотемпературної обробки молока являє собою складну динамічну ланку з багатьма взаємопов'язаними вхідними і вихідними величинами.

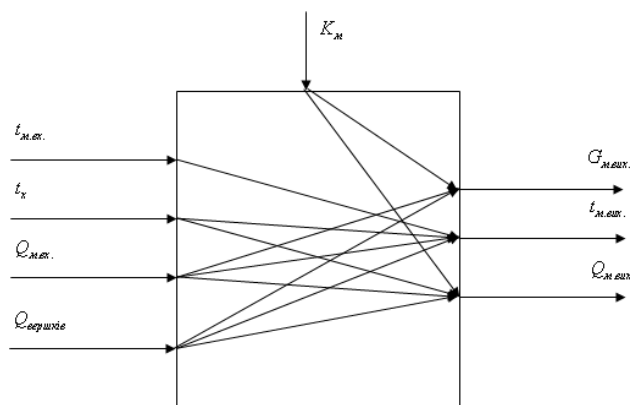


Рисунок 2 – Структурна схема взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта керування

З цієї ж схеми видно напрямок регулювання, в залежності від зміни вхідних величин, це дозволяє здійснити стабілізацію регульованих величин при допомозі незалежних систем, які зв'язані лише через об'єкт регулювання.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 3.

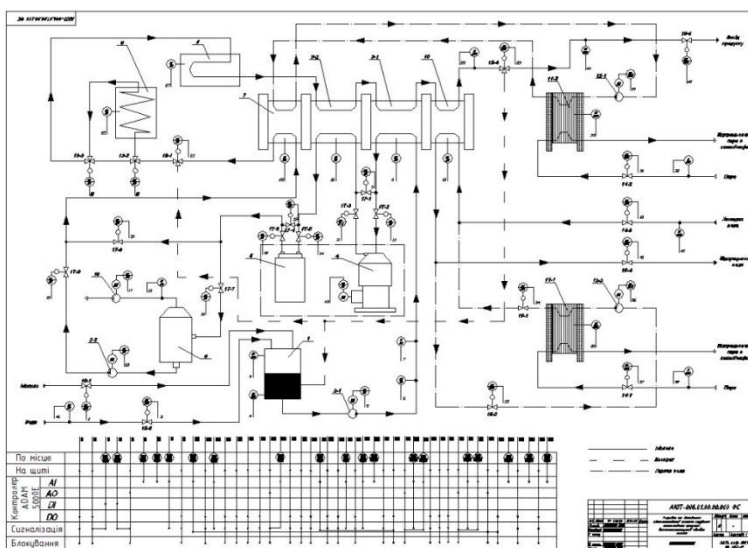


Рисунок 3 – Функціональна схема автоматизації

Крім того в схемі передбачена сигналізація роботи датчиків, електродвигунів та приводів виконавчих механізмів, а також сигналізація перевищення температури в пастеризаторі і ємкості для зберігання, та зниження величини розрідження в молокопроводі нижче допустимої.

На рисунку 4 наведена принципова електрична схема підключення апаратури до модулів контролера, а також з'єднання сигнальних модулів, блоків живлення і процесора.

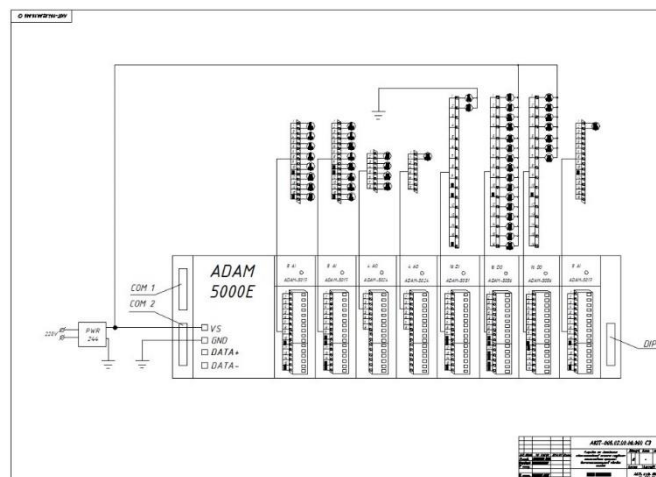


Рисунок 4 – Принципова електрична схема

Програмне забезпечення для контролера було розроблено в середовищі Adam View. Структурна схема програми наведена на рисунку 5.

Аналізуючи структуру системи автоматичного регулювання температури молока в пастеризаторі, бачимо, що маємо замкнену систему, на вході якої знаходиться задана температура молока, на виході – отримане значення температури молока. В результаті віднімання від заданого значення і отриманого на виході маємо значення розузгодження, на основі котрого регулятором виробляється рішення про збільшення чи зменшення значення сигналу керування на виконавчому механізмі. В нашому випадку виконавчим механізмом є регулюючий клапан подачі пари, котрий збільшує чи зменшує подачу пари в залежності від коливань температури молока і задаючим сигналом для нього є задаючий рівень напруги від керуючого пристрою, залежний від сигналу розузгодження в межах регулювання. При відхиленні поточного значення відношення температури

молока від заданого внаслідок коливань температури, тиску при подачі пари, завдяки отриманому сигналу розузгодження виробляється додаткова напруга на сервоприводі регулюючого клапану, котра змушує його збільшувати або зменшувати площу поперечного перерізу впускного каналу подачі пари. Таким чином можемо на основі викладеного вище зобразити структурну схему розглядуваної САР (рис. 6).

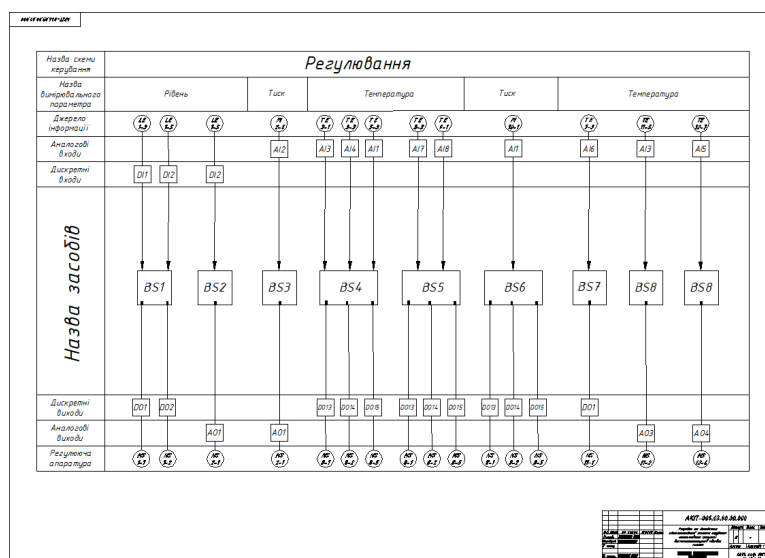


Рисунок 5 – Структурна схема програми роботи контролера

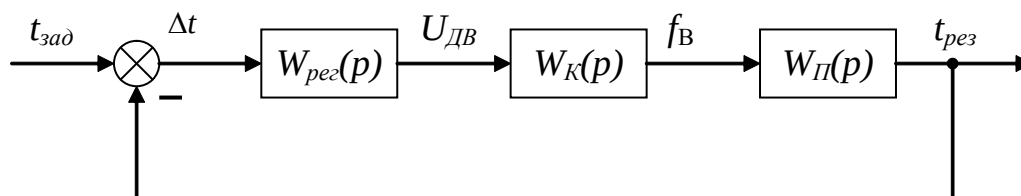


Рисунок 6 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температури молока в пастеризаторі

Зведемо параметри для розрахунку автоматичної системи регулювання до таблиці 2.

Виходячи із заданих значень розрахуємо коефіцієнти та сталі часу передаточних функцій системи автоматичного регулювання температури молока.

Одним з частотних методів визначення стійкості автоматичних систем регулювання (АСР) є метод за Найквістом. Він дозволяє визначити стійкість замкненої системи за амплітудно-фазовою характеристикою (АФХ) розімкненої системи. При цьому метод визначення залежить від того, чи є стійкою АСР у розімкненому стані.

Визначимо стійкість АСР у розімкненому вигляді. Для цього скористаємося методом Гурвіца, котрий є одним з алгебраїчних методів.

$$T_{30}p^3 + T_{20}p^2 + T_{10}p + 1 = 0.$$

Згідно критерію стійкості АСР за Гурвіцем необхідною та достатньою умовою стійкості при $a_0 > 0$ є додатність всіх часткових визначників матриці Гурвіца.

Підставивши значення всіх параметрів АСР та змінюючи ω від 0 до ∞ отримуємо АФХ розімкненої системи (рис. 7).

З вигляду АФХ на рисунку 6 можемо зробити висновок, що дана система автоматичного регулювання є стійкою у замкненому стані, оскільки не охоплює точку $(-1;j0)$.

Дослідимо перехідну характеристику замкненої САК (рис. 7) як реакцію на одиничну керуючу функцію $g(t)=v_{зад}(t)=1(t)$. Для цього скористаємося методом одиничних трапецій та трикутників. Насамперед згідно алгоритму даного методу побудуємо залежність дійсної частини $U_3(\omega)$ амплітудно-фазової частотної характеристики від частот ω .

Таблиця 2 – Дані для розрахунку автоматичної системи керування

Назва параметру	Позначення параметру	Значення параметру
ПІ-регулятор		
Коефіцієнт перетворення розузгодження співвідношення в сигнал керування	K_p	0,61 В
Двигун сервоприводу		
Індуктивність в обмотці двигуна	L	0,024 Ом·с
Опір в обмотці двигуна	R	1,26 Ом
Приведений момент інерції рухомих частин (з навантаженням)	J	0,2 кг·м ²
Коефіцієнт перетворення струму в момент руху	k_p	$4,46 \cdot 10^{-2}$ Н·м/А
Коефіцієнт швидкісного тертя (з урахуванням навантаження)	k_o	0,04 Н·м·с
Добуток коефіцієнта перетворення напруги в швидкість та коефіцієнта редукції	k_ω	0,02 В·с
Регулюючий клапан		
Коефіцієнт залежності потоку пари від кута повороту валу серводвигуна	k_K	0,5 м ³ /с·рад
Стала часу реакції потоку пари на зміну кута повороту валу серводвигуна	T_K	0,06 с
Пастеризатор		
Коефіцієнт залежності температури молока від потоку пари	k_v	4,51 с/м ³

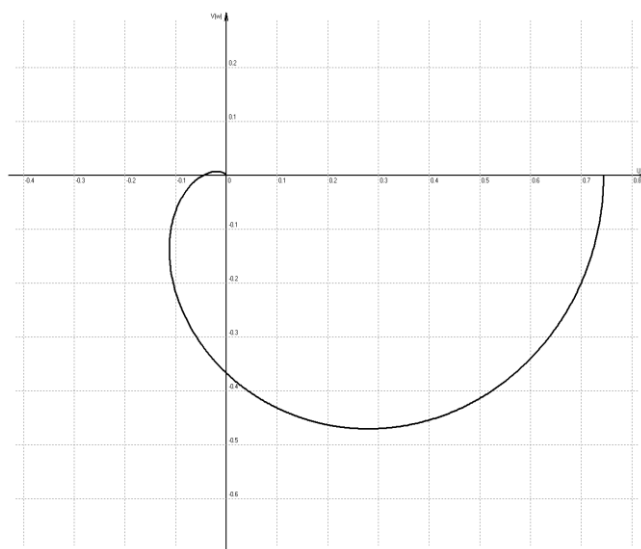


Рисунок 7 – Амплітудно-фазова характеристика САР

Змінюючи ω від 0 до ω_s , де ω_s – границя області суттєвих частот (тобто таких, для яких

виконується умова $\left| \frac{U_3(0)}{U_3(\omega)} \right| \geq 10$), отримуємо характеристику $U_3(\omega)$ (рис. 8).

Проведемо аналіз отриманої перехідної характеристики. Виходячи з рисунка 9 можемо визначити основні показники якості:

- 1) перерегулювання системи $\sigma = \frac{h_{\max} - h_{cm}}{h_{cm}} \cdot 100\% = 16\%$. Виходячи з цього робимо

висновок, що не потрібно використовувати регулятори для зменшення перерегулювання, оскільки це значення є меншим за 18 %;

- 2) час регулювання складає 26 с;
- 3) частота коливального процесу складає $1,15 \text{ c}^{-1}$.
- 4) кількість коливань за час регулювання – 0,38;
- 5) час досягнення першого максимуму – 4,6 с.

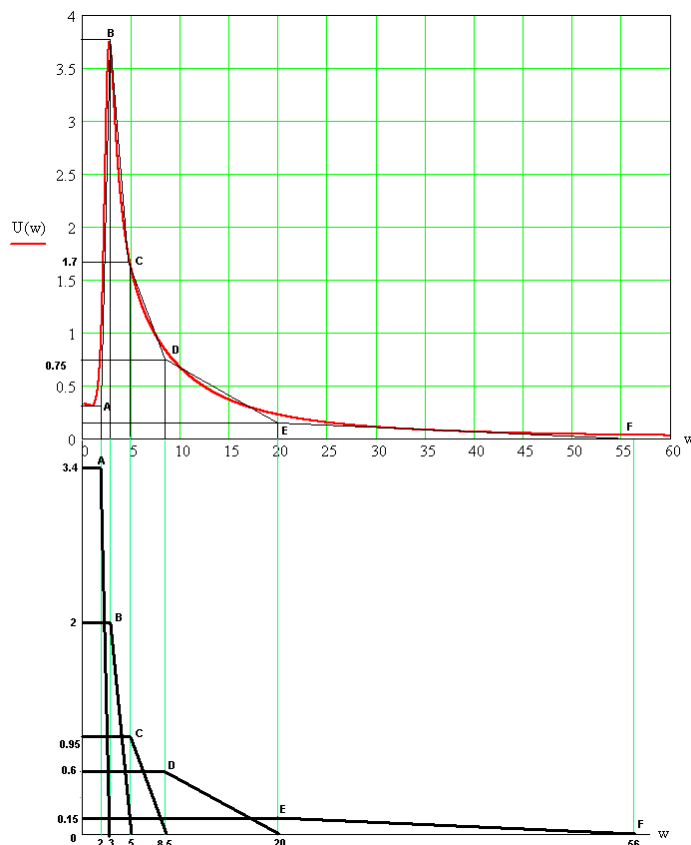


Рисунок 8 – Дійсна частина амплітудно-фазової частотної характеристики САК $U_3(\omega)$.
Апроксимуючі еквівалентні трапеції

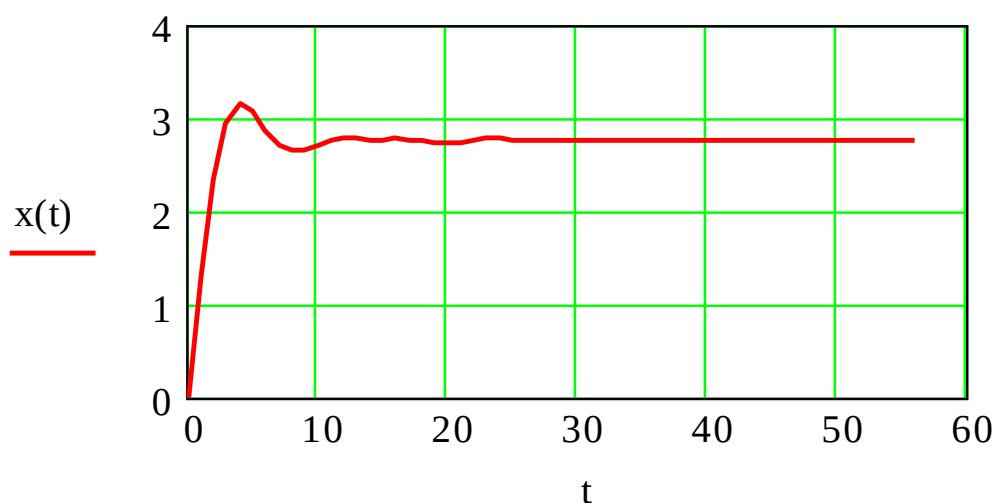


Рисунок 9 – Перехідний процес САК

Висновки:

Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом високотемпературної обробки молока, дозволить не тільки підвищити якість готової продукції, а й збільшити продуктивність технологічної лінії, та підвищить екологічність виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про затвердження Вимог до безпечності та якості молока і молочних продуктів URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/382259___709532 (дата звернення 26.11.2023).

УДК 519.6

О. М. Решетило, Ю. С. Лапченко, О. А. Шевчук

Луцький національний технічний університет

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
ВИРОБНИЦТВА СУМІШІ МОРОЗИВА**

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення господарського мила. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, структурну схему програми роботи контролера і щит керування. проведено розрахунок економічної ефективності системи автоматизації.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, суміш, морозиво, автоматизована система керування, алгоритм, програма, мікроконтролер.

O. Reshetylo, Yu. Lapchenko, O. Schevchuk. Automated system for controlling the technological process of ice cream mixture production

The work is devoted to the design of an automated control system for the manufacturing process of laundry soap. An analysis of the technological process as an object of management was carried out, and research tasks were defined. A functional automation scheme has been developed, technical means of automation and a controller have been selected. A basic electrical diagram for connecting sensors and actuators to the controller modules, a structural diagram of the controller's work program and a control panel have been developed. the calculation of the economic efficiency of the automation system is carried out.

Key words: technological process, production, mixture, ice cream, automated control system, algorithm, program, microcontroller.

Постановка проблеми.

Автоматизовані системи керування технологічними процесами виробництва мають велике значення у сучасній промисловості, включаючи виробництво харчових продуктів, таких як морозиво. Ось деякі аспекти, які підкреслюють актуальність розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва суміші морозива:

1. Якість продукції: Автоматизація дозволяє забезпечити стабільну якість продукції шляхом точного контролю параметрів технологічного процесу. Це особливо важливо для виробництва харчових продуктів, де якість є однією з ключових характеристик.

2. Ефективність виробництва: Автоматизація дозволяє оптимізувати технологічні процеси, скорочуючи час виробництва та зменшуючи витрати енергії. Це призводить до підвищення продуктивності виробництва та зниження витрат.

3. Споживчий попит і індивідуалізація продукції: Автоматизація дозволяє швидко адаптуватися до змін споживчого попиту та швидко впроваджувати нові рецептури або варіації продукції без великих затримок у виробництві.

4. Системи контролю якості: Автоматизовані системи можуть включати в себе сучасні технології контролю якості, такі як вимірювальні прилади, сенсори та візуальне визначення

параметрів. Це сприяє виявленню і усуненню аномалій у виробництві, забезпечуючи високу якість продукції.

5. Забезпечення безпеки продукції: Автоматизація дозволяє підтримувати високі стандарти безпеки продукції шляхом автоматичного контролю технологічних параметрів та уникнення людських помилок.

6. Економія ресурсів: Автоматизовані системи керування можуть допомагати в ефективному використанні сировини та ресурсів, що є важливим аспектом у виробництві харчових продуктів.

З урахуванням цих факторів, розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва суміші морозива може призвести до покращення якості продукції, зниження витрат та підвищення конкурентоспроможності підприємства на ринку.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва суміші морозива показав, що керування технологічним процесом здійснюється в основному в ручному режимі, частково автоматизовані процеси не дозволяють забезпечити точність високу підтримання температурних режимів, має значну інертність, тому не може забезпечити високу продуктивність лінії та належну якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основні технологічні етапи виробництва суміші морозива: приготування суміші морозива, пастеризація, охолодження, фільтрація, гомогенізація і дозрівання суміші.

В процесі виробництва суміші морозива виділяють наступні технологічні операції:

- підготовка сировини;
- змішування компонентів;
- пастеризація суміші;
- гомогенізація;
- охолодження суміші;
- дозрівання суміші;
- фрізерування.

Існуюча технологічна схема виробництва суміші морозива дозволяє виділити наступні основні технологічні етапи, які об'єднані або за характером процесу (порційний або потоковий), або за особливою технологічною спеціалізацією (теплова та санітарна обробка).

Приготування суміші морозива складається з підготовки рідкої фази і змішування жирової фракції та сухих речовин суміші в потоці.

Для змішування компонентів при приготуванні суміші морозива використовують універсальні теплообмінні ємності, сироварні ванни, ванни тривалої пастеризації, резервуари для теплової обробки молока та інше обладнання. Ванни можна також використовувати для пастеризації і охолодження суміші.

Рідку фазу суміші морозива (молоко або воду) попередньо підігрівають до температури 40...45 °С, при цьому використовуються пластинчаті нагрівачі або інше теплообмінне обладнання.

Для приготування сухих речовин і жирів використовують пристрої типу диспергаторів. Крім цього, в технологічному процесі використовуються шнекові підйомники, жироплавильники, бункери та інше обладнання.

Після приготування суміш фільтрують, оскільки наступне обладнання технологічного процесу не може працювати з присутніми в суміші нерозчиненими грудочками сухих речовин. Для цього використовуються двохсекційні фільтри.

Пастеризацію суміші здійснюють на пластинчатій пастеризаційно-охолоджувальній установці при температурі 80...85 °С з витримкою часу 50...60 с. При пастеризації в теплообмінних апаратах періодичної дії застосовуються наступні режими:

- 1) 68-72 °С, витримка 25-30 хв.;
- 2) 73-77 °С, витримка 15-20 хв.;
- 3) 83-87 °С, витримка 3-5 хв.

Гомогенізація необхідна для стабілізації емульсії. Вона не є обов'язковою, однак бажана. Гомогенізацію здійснюється при температурі близькій до температури пастеризації. Чим більше масова частка жиру в суміші, тим меншим повинен бути тиск в процесі гомогенізації.

В даному технологічному процесі використовується двоступінчаста гомогенізація, що дозволяє досягти необхідного ступеня збивання та хорошої консистенції готового продукту.

В процесі гомогенізації відбувається молекулярне розщеплення жирових кульок молочного жиру. Крім цього, гомогенізована суміш має чітко виражений білий колір, легше дозріває і не

розшаровується.

Приготування суміші морозива складається з етапів підготовки водної фази і змішування жирової фракції та сухих речовин суміші в потоці або періодичним способом. Для змішування компонентів сировини при приготуванні сумішей для морозива використовують універсальні теплообмінні місткості, сироварні ванни, ванни тривалої пастеризації, резервуари для теплової обробки молока та інше устаткування. Ванни можна використовувати також для пастеризації і охолодження суміші. Водну фазу суміші морозива (молоко і/або воду) попередньо підігрівають до температури 40-45 °С, використовуючи пластинчаті нагрівачі або інше теплообмінне устаткування. Для вироблення сухих речовин і жирів використовують пристрої типу диспергаторів. Залежно від продуктивності ділянки підготовки суміші використовуються шнекові підйомники, маслоплавильники, бункери і інше обладнання.

Після приготування суміш фільтрують. Для цього використовуються двохсекційні фільтри. Процес фільтрації особливо необхідний, оскільки подальше устаткування критично сприймає присутні в суміші нерозчинені грудочки сухих речовин.

Пастеризацію суміші на пластинчатій пастеризації – охолоджувальній установці здійснюють при температурі 80-85 °С з витримкою в 50-60 секунд. При пастеризації в теплообмінних апаратах періодичної дії застосовуються наступні режими: 68-72 °С, витримка 25-30 хвилин; 73-77 °С, витримка 15-20 хвилин; 83-87 °С, витримка 3-5 хвилин.

Гомогенізація необхідна для стабілізації емульсії. Гомогенізація суміші морозива – не обов'язковий, однак рекомендуємий процес. Він здійснюється при температурі близькій до температури пастеризації. Чим більше масова частка жиру в суміші, тим менше тиск гомогенізації. При виробництві морозива рекомендується використовувати двоступінчасту гомогенізацію. Використання процесу гомогенізації суміші морозива дозволяє добитися необхідного ступеня взбитості і доброї консистенції готового продукту. В процесі гомогенізації відбувається молекулярне розщеплювання жирових кульок молочного жиру. Гомогенізуюча суміш має чітко виражений білий колір, легше дозріває і не відшаровується.

Після гомогенізації суміш охолоджують до температури 2-6 °С. Охолодження суміші морозива проводиться в закритому потоці. Для цієї мети використовують пластинчаті пастеризаційно-охолоджувальні установки, пластинчаті і кожухотрубні охолоджувачі, вершководозрівальні ванни і інше. Суміш спочатку охолоджують проточною водою, потім крижаною водою з температурою 1-2 °С або холодоносієм (розсол) з температурою не вище 5 °С.

Суміш направляють в резервуари або вершководозрівальні ванни, де проводять зберігання при температурі 4-6 °С (не більше 24 годин) або при температурі 0-4 °С (не більше 48 годин). Зберігання є обов'язковою стадією технологічного процесу лише для сумішей морозива, що готуються з використанням желатину (стабілізатора).

При фрізеруванні суміш збивається (насичується повітрям) і частково заморожується. Використовуються фрізери безперервної або періодичної дії. У фрізер суміш поступає з температурою 2-6 °С, на виході ж температура морозива повинна бути не вище -3-5 °С, за винятком морозива, що виробляється з використанням ескімогенераторів. Взбитість морозива складає 40-60 % залежно від виду морозива і фрізера, що використовується.

Після фрізерування морозиво в максимально короткий термін піддається подальшому заморожуванню (гартуванню). Фасоване морозиво гартують в потоці повітря в температурі від -25 °С до -37 °С в спеціальних морозильних апаратах, а також в металевих формах в ескімогенераторах. Температура морозива після гартування повинна бути не вищою -12 °С. Дозакалювання проводять в гартівних камерах або камерах схову протягом 24-36 годин. Загартоване морозиво поміщають в камеру зберігання.

Основні технологічні параметри процесу виготовлення суміші морозива наведено в таблиці 1.

Система автоматизації, що розробляється, повинна забезпечувати виконання наступних функцій:

- задавати та чітко витримувати дозування рідких та сипучих компонентів для суміші морозива;
- контролювати та витримувати нижній та верхній рівні суміші в змішувачах;
- задавати і чітко витримувати температуру плавлення жирової фракції;
- задавати і чітко витримувати температуру та час етапів витримки пастеризації суміші;
- задавати і чітко витримувати температуру та час гомогенізації суміші;

- задавати і чітко витримувати температуру та тиск живильної води або ж розсолу для охолодження суміші;
- задавати і чітко витримувати температуру в вершководозрівальних ваннах;
- задавати і чітко витримувати час зберігання суміші в вершководозрівальних ваннах;
- задавати і чітко витримувати температуру суміші на вході в фрізер;
- задавати і чітко витримувати температуру суміші на виході з фрізера;
- задавати і чітко витримувати температуру гартування морозива;
- задавати і чітко витримувати час дозагартування морозива;
- задавати і чітко витримувати температуру морозива після гартування;
- забезпечувати можливість переходу системи на ручне управління;
- автоматичне зупинення лінії у випадку аварійних ситуацій.

Таблиця 1 - Параметри технологічного процесу виготовлення суміші морозива

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення	Гранично-допустима похибка, %
1	2	3	4
Температура першої стадії пастеризації суміші	°C	62...72	±3
Час першої стадії витримки	хв.	25...30	±2
Температура другої стадії пастеризації суміші	°C	73...77	±3
Час другої стадії витримки	хв.	15...20	±2
Температура третьої стадії пастеризації суміші	°C	83...87	±3
Час третьої стадії витримки	хв.	3...5	±2
Температура охолодження суміші після гомогенізації	°C	2...6	±1,5
Температура води для охолодження	°C	1...2	±1
Температура розсолу для охолодження суміші	°C	5	-1,5
Температура в вершководозрівальних ваннах	°C	4...6 або 0...4	±1
Час зберігання суміші в вершководозрівальних ваннах при температурі 4...6 °C	год.	24	-2
Час зберігання суміші в вершководозрівальних ваннах при температурі 0...4 °C	год.	48	-2
Температура суміші на вході в фрізер	°C	2...6	±1
Температура суміші на виході з фрізера	°C	-3...5	±1
Температура гартування морозива	°C	-25...37	±1,5
Температура морозива після гартування	°C	-12	-1,5
Час дозагартування морозива	год.	24...36	±2

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва суміші можна зробити наступні висновки.

Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом виробництва

суміші морозива мають ряд недоліків, а саме вони обмежуються лише візуальним контролем та ручним керуванням і регулюванням технологічних параметрів, частково відсутня сигналізація та технологічний захист. Присутні значні відхилення технологічних параметрів та часу протікання процесів.

Для забезпечення високої продуктивності лінії та якості готової продукції необхідно:

7. провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
8. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
9. вибрати датчики, виконавчі механізми та контролер;
10. розробити електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
11. розробити програмне забезпечення для контролера;
12. розробити щит керування.

Тому виникла необхідність розробити автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва господарського мила.

Виклад основного матеріалу.

Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва суміші морозива передбачає наступні контури регулювання:

- регулювання співвідношення сухих та рідких компонентів;
- регулювання температури і тиску живильної води (розсолу);
- регулювання температури плавлення жирової фракції.

Основні вхідні параметри технологічного процесу виробництва суміші морозива:

- 1) температура живильної води (розсолу);
- 2) тиск пари;
- 3) витрата сухих компонентів;
- 4) витрата рідких компонентів.

Основними збурюючими параметрами є:

- 1) температура навколишнього середовища;
- 2) температура частин обладнання.

Вихідними параметрами технологічного приготування суміші морозива є:

- 1) об'єм суміші на виході з лінії;
- 2) температура суміші на виході з суміші.

З вище наведеної схеми видно, що технологічний процес виробництва суміші морозива являє собою складну динамічну ланку з багатьма взаємопов'язаними вхідними і вихідними величинами. З цієї ж схеми видно напрямки регулювання, в залежності від зміни вхідних величин, це дозволяє здійснити стабілізацію регульованих величин при допомозі незалежних систем, які зв'язані лише через об'єкт регулювання.

Збурюючими факторами є температура навколишнього середовища і корпусів обладнання.

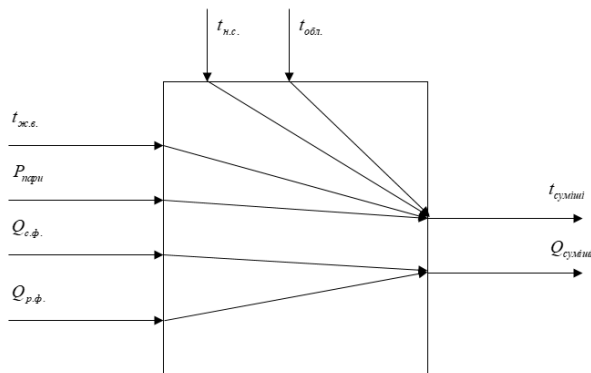


Рисунок 1 – Структурна схема взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта:

де $t_{ж.в.}$ – температура живильної води (розсолу);

$P_{пары}$ – тиск пари;

$Q_{с.ф.}$ – витрата сухих компонентів;

$Q_{p.ф.}$ – витрата рідких компонентів.

$t_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища;

$t_{обл.}$ – температура частин обладнання;

$t_{суміші}$ – об'єм суміші на виході з лінії;

$Q_{суміші}$ – температура суміші на виході з суміші

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 2.

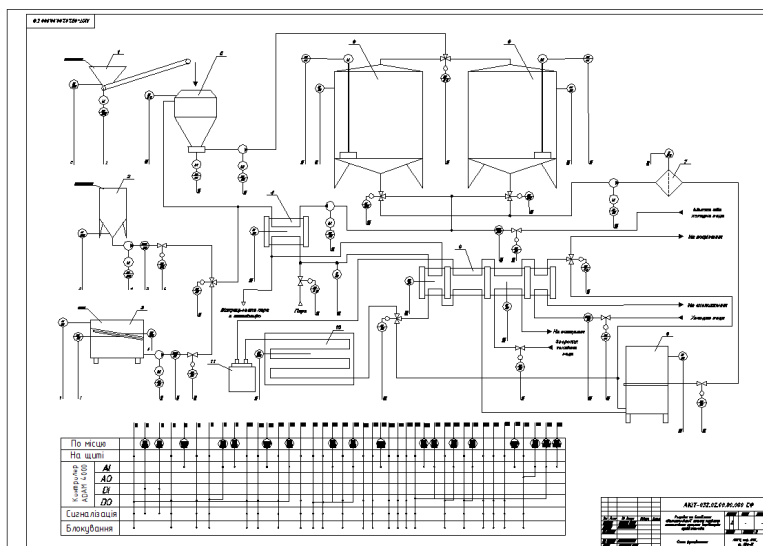


Рисунок 2 – Функціональна схема автоматизації

Отже, основними технологічним етапами виробництва суміші морозива є: приготування суміші, пастеризація, охолодження, фільтрація, гомогенізація та дозрівання суміші.

Виробництво суміші морозива в потоці з використанням натуральних компонентів здійснюється неперервним способом.

При ввімкненні пускача NS 1-1 подається напруга на електродвигун приводу стрічкового конвеєра і сухі компоненти суміші морозива з ємності 1 подаються в установку неперервного змішування 5. Нижній рівень сухих компонентів в ємності 1 контролюється за допомогою датчика рівня LE 1-2 дискретного типу.

Одночасно при ввімкненні пускачів NS 2-6 та NS 5-1 відкриваються одноходовий вентиль подачі згущеного молока та перемикається триходовий вентиль зміни подачі рідких компонентів. При ввімкненні пускача NS 2-3 подається напруга на електродвигун приводу насоса та згущене молоко з ємності 2 подається в установку неперервного змішування 5. Нижній рівень згущеного молока в ємності 2 контролюється за допомогою датчика рівня LE 2-1 дискретного типу. Облік кількості подачі згущеного молока в установку неперервного змішування здійснюється за допомогою витратоміра FQIS 2-4.

Одночасно при ввімкненні пускача NS 3-1 подається напруга на тен підігрівання дна ємності для масла 3. Температура нагрівання масла контролюється датчиком TE 3-2, а рівень масла в ємності контролюється датчиком LE 3-4 аналогового типу. При ввімкненні пускачів NS 3-6 та NS 5-1 відкриваються одноходовий вентиль подачі масла та перемикається триходовий вентиль зміни подачі рідких компонентів. При ввімкненні пускача NS 3-7 подається напруга на електродвигун приводу насоса та масло з ємності 3 подається в установку неперервного змішування 5. Облік кількості подачі масла в установку неперервного змішування здійснюється за допомогою витратоміра FQIS 3-8.

При ввімкненні пускачів NS 6-9 та NS 4-1 відкриваються електроклапан та вмикається електродвигун приводу насоса і молоко спочатку подається в пластинчатий підігрівач 4, а тоді в установку неперервного змішування 5. Рівень компонентів суміші морозива в установці неперервного змішування 5 контролюється датчиком LE 5-2 аналогового типу. Нагрівання молока в пластинчатому підігрівачі 4 забезпечується шляхом подачі пари в його рубашку при відкритті електроклапана шляхом вмикання пускача NS 4-2. Для вимірювання тиску перегрітої пари в

трубопроводі використовуємо датчик тиску PI 4-3 аналогового типу. Температура нагрівання молока в пластинчатому підігрівачі 4 контролюється датчиком TE 4-5. Облік кількості подачі молока в установку неперервного змішування 5 здійснюється за допомогою витратоміра FQIS 6-10.

Якісне змішування компонентів суміші молозива в установці неперервного змішування 5 забезпечується за допомогою мішалки, напруга на електродвигун приводу якої подається при ввімкненні пускачів NS 5-4. Рівень компонентів суміші молозива в установці неперервного змішування 5 контролюється датчиком LE 5-2 аналогового типу.

При ввімкненні пускачів NS 6-2 та NS 6-1 відкриваються триходовий вентиль та вмикається електродвигун приводу насоса і суміш морозива з установки неперервного змішування подається в першу ємкість для приготування 6. Рівень суміші морозива в першій ємності для приготування 6 контролюється за допомогою датчика рівня LE 6-3 аналогового типу. Якісне змішування компонентів суміші молозива в ємності для приготування 6 забезпечується за допомогою мішалки, напруга на електродвигун приводу якої подається при ввімкненні пускачів NS 6-5.

При досягненні верхнього рівня суміші в першій ємності для приготування, вмикаються пускачі NS 6-2 та NS 6-1 перемикається триходовий вентиль та вмикається електродвигун приводу насоса і суміш морозива з установки неперервного змішування подається в другу ємкість для приготування 6. Рівень суміші морозива в другій ємності для приготування 6 контролюється за допомогою датчика рівня LE 6-6 аналогового типу. Якісне змішування компонентів суміші молозива в ємності для приготування 6 забезпечується за допомогою мішалки, напруга на електродвигун приводу якої подається при ввімкненні пускачів NS 6-8.

Мішалки в першій та другій ємностях для приготування працюють постійно, доки готується суміш.

Після отримання однорідної консистенції суміші морозива в першій ємності для приготування, вмикаються пускачі NS 8-1, NS 8-4 та NS 6-11 відкривається триходовий вентиль, електроклапан та вмикається електродвигун приводу насоса і суміш морозива з першої ємності через фільтр 7 подається в приймальний бак 8, доки рівень суміші морозива в першій ємності для приготування 6 не досягне нижнього рівня і спрацює датчик рівня LE 6-3. Вимкнуться пускачі NS 6-11 та NS 6-5, переключиться триходовий клапан і вимкнеться мішалка в першій ємності для приготування, вмикається пускач NS 6-12 відкривається триходовий вентиль, і суміш морозива з другої ємності через фільтр 7 подається в приймальний бак 8, доки рівень суміші морозива в другій ємності для приготування 6 не досягне нижнього рівня і спрацює датчик рівня LE 6-6. Вимкнуться пускачі NS 6-12 та NS 6-8, переключиться триходовий клапан і вимкнеться мішалка в другій ємності для приготування, вмикається пускач NS 6-11 відкривається триходовий вентиль, і суміш морозива з першої ємності через фільтр 7 подається в приймальний бак 8, доки рівень суміші морозива в першій ємності для приготування 6 не досягне нижнього рівня.

Якісна робота фільтра для суміші 7 контролюється за допомогою датчика тиску PI 8-2 аналогового типу.

Рівень суміші морозива в приймальному баці 8 контролюється датчиком рівня LE 8-5 аналогового типу. При досягненні верхнього рівня вмикаються пускачі NS 8-1, NS 8-4 та NS 6-11 чи NS 6-12 перемикається триходовий вентиль, закривається електроклапан та вмикається електродвигун приводу насоса, залежно від того з якої ємності для приготування подавалась суміш морозива в приймальний бак. При досягненні ж нижнього рівня вмикаються пускачі NS 8-1, NS 8-4 та NS 6-11 чи NS 6-12 перемикається триходовий вентиль, відкривається електроклапан та вмикається електродвигун приводу насоса, залежно від того з якої ємності для приготування буде подаватись суміш морозива в приймальний бак.

Тоді вмикаються пускачі NS 9-1 та NS 9-2, перемикаються відповідні триходові клапани і суміш морозива є приймального бака, пройшовши через пастеризаційну установку 9, витримував 10, гомогенізатор 11 та охолоджувальну установку 9, направляється на дозрівання.

Температура в пастеризаційній частині установки 9 контролюється датчиком температури TE 9-9 аналогового типу, а підтримується за допомогою подачі пари в її рубашку при відкритті електроклапана за допомогою пускача NS 4-2. Температура ж в охолоджувальній частині установки 9 контролюється датчиком температури TE 9-7 аналогового типу, а підтримується за допомогою подачі в її рубашку зворотної технічної води при відкритті електроклапана за допомогою пускача NS 9-6.

Температура у витримувачі 10 контролюється датчиком температури TE 10-1 аналогового типу.

Вибір технічних засобів автоматизації проводимо виходячи з кількості та виду аналогових та

цифрових сигналів, що поступають від датчиків на канали вхідних модулів контролера, та і вихідних аналогових та які, формуються на каналах вихідних модулів контролера та передаються на виконавчі механізми.

На рисунку 3 наведена принципова електрична схема підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, а також з'єднання модулів та блоків живлення.

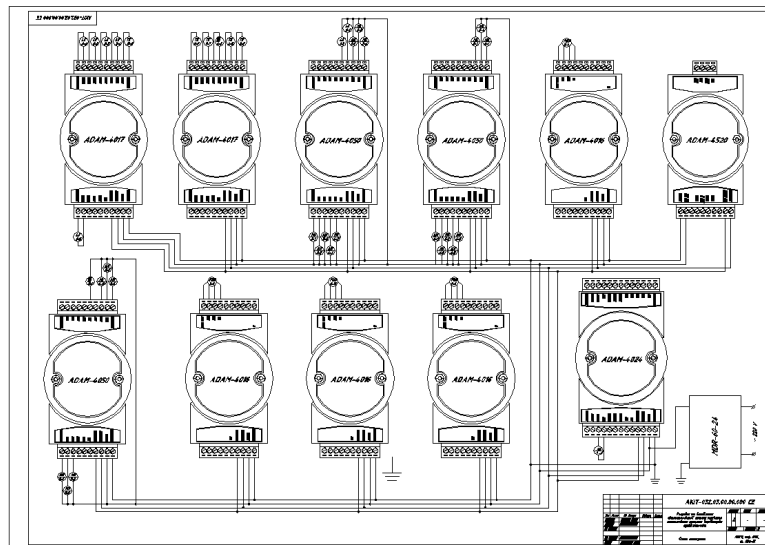


Рисунок 3 – Принципова електрична схема

Розроблена структурна схема програми роботи контролера наведена на рисунку 4.

Для розміщення пристроїв автоматики непрямої дії, в окремому приміщенні операторної змонтований розроблений щит керування, загальний вигляд якого наведений на рисунку 5.

На передній панелі шафи керування розміщено центральний рубильник S13, 12 перемикачів для можливої роботи технологічного обладнання в ручному режимі S1-S12 та 18 лампочок сигналізації роботи виконавчих елементів технологічного обладнання HL1-HL18 та 3 технологічні таблички Т1-Т3.

На фасадному виді щита керування, габарити якого представлені на листі № 7 графічної частини, показані керуючі, регулюючі, показуючі прилади, блок живлення MDR-60-24 і сигнальні лампи. При розміщенні засобів автоматизації, апаратури керування і електровимірювальних приладів рекомендується враховувати їх призначення та кількість, розміщення штуцерів і вводів, зручність монтажу та експлуатації. Засоби автоматизації і апаратури керування компонуються за функціональними групами в порядку ходу технологічного процесу.

На фасадному виді щита керування показано розташування приладів, а саме:

- табло з надписами – 4 шт. і сигнальна лампа ввімкнення резервного живлення;
- індикатори технологічні – 17 шт.;
- модулі мікроконтролера ADAM серії 4000:
- модуль цифрового вводу/виводу ADAM-4050 – 4 шт.,
- модуль аналогового вводу ADAM-4017 – 2 шт.,
- модуль аналогового вводу ADAM-4016 – 4 шт.,
- модуль аналогового виводу ADAM-4024 – 1 шт.,
- модуль перетворення інтерфейсу ADAM-4520 – 1 шт.;
- пускачі – 29 шт.;
- центральный рубильник – 1 шт.;
- перемикачі малогабаритні - 2 шт.;
- блок живлення – 1 шт.

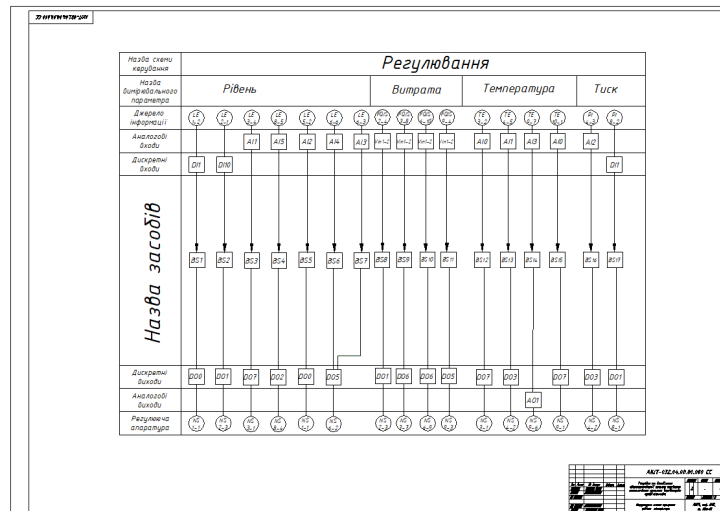


Рисунок 4 – Структурна схема програми роботи контролера

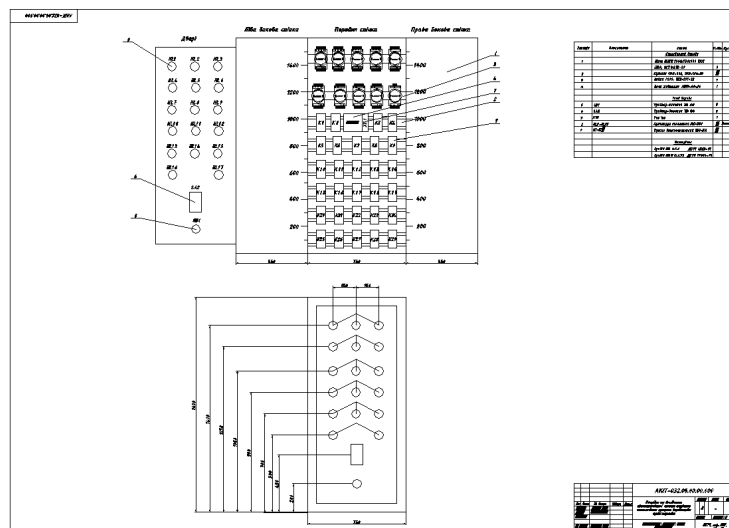


Рисунок 5 – Загальний вигляд щита керування

На внутрішніх панелях щита керування розташовані:

- а) схема релейного захисту;
- б) джерело живлення (MDR-60-24);
- в) автоматичні вимикачі;
- г) зборки комутаційних затискачів;
- д) запобіжники;
- є) схема ввімкнення резервного живлення з сигналізацією;
- ж) розетка, внутрішнє освітлення щита.

Висновки:

Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва господарського суміші, дозволить не тільки підвищити якість продукції, а й збільшити продуктивність технологічної лінії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Виробництво морозива URL: <https://lasunka.com/blog/virobnicztvo-moroziva/> (дата звернення 09.11.2023).
2. Технологія морозива [Текст] : навч. посіб. / І. І. Бартковський, Г. Є. Поліщук, Т. Є. Шарахматова та ін. ; Нац. ун-т харч. технологій., Одес. нац. акад. харч. технологій, Асоц. укр. виробників "Морозиво і заморожені продукти". Київ : Фенікс, 2010. 248 с. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f8367152-d1f4-4353-9039-0928692d19c0/content> (дата звернення 09.11.2023).

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ПАКЕТІВ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЇХ ВИРОБНИЦТВА

У даній статті розглянуто та проаналізовано актуальність вибору об'єкта дослідження. Висвітлено основні етапи технологічного процесу, матеріали та обладнання необхідні при виготовленні поліетиленових пакетів. З'ясовано ключові параметри від яких суттєво залежить якість та кількість виготовленої продукції та подано вимоги до системи автоматизованого управління технологічним процесом при виробництві поліетиленових пакетів. Вказано можливості та перспективи подальших наукових досліджень у цій сфері.

Ключові слова: поліетиленові пакети, виробництво, технологічний процес, автоматизація, параметри.

O.M. Reshetilo, V.I. Ovechko. Analysis of the technological process of production of polyethylene packages as an object of control during the automation of their production process. This article examines and analyzes the relevance of choosing a research object. The main stages of the technological process, materials and equipment necessary for the production of polyethylene bags are covered. The key parameters on which the quality and quantity of manufactured products significantly depend are clarified, and the requirements for the system of automated control of the technological process in the production of polyethylene bags are presented. Possibilities and prospects of further scientific research in this field are indicated.

Key words: polyethylene bags, production, technological process, automation, parameters.

Постановка проблеми. «Поліетиленові пакети в наш час міцно ввійшли в побут. Ці пакети досить зручні у використанні, а сфер їх застосування існує величезна безліч. Вони ідеально підходять для транспортування та зберігання різних видів продуктів, як в побуті, так і на виробництві. Поліетиленові пакети стали незамінними при вивезенні сміття для подальшої його утилізації. Ну і, що важливо, в поліетиленових пакетах найзручніше приносити з супермаркету куплені продукти. Даними властивостями пакетів багато продавців навчилися користуватися вже давно, розміщуючи власну рекламу на пакетах. Власні логотипи і рекламу на пакетах друкують не тільки торгові компанії. Перші пакети з поліетилену були зроблені в 1957 році. Їх використовували для упаковки хліба, овочів і фруктів.

Поліетиленові пакети швидко отримали визнання і в європейських країнах. Вже до середини 70-их виробництво поліетиленових пакетів досягло 11 млн. штук. Перші пакети п/е були призначені тільки для фасування. Пакети з ручкою з'явилися тільки в 1982 році. Поява сучасних видів пакетів стало різким поштовхом до підвищення обсягів виробництва пакетів. А до 2002 року виробництво пакетів п/е досягло свого піку - 5 трлн шт. за рік. Велика кількість фірм пропонують послуги з виготовлення поліетиленових пакетів. Адже цей матеріал, дозволяє виготовляти пакети найрізноманітніших видів.

Будь-яку продукцію, для отримання якої відомі методи та маршрути обробки, найбільш просто можна отримати на універсальному неавтоматизованому обладнанні з ручним керуванням за безпосередньої участі людини. Автоматизація виробничих процесів, яка пов'язана з неминучими, інколи досить значними витратами сил, засобів, часу, має мету – підвищення продуктивності та якості продукції, скорочення кількості обслуговуючих робітників порівняно з неавтоматизованим виробництвом» [1-2].

Актуальність дослідження полягає у виявленні слабких місць діючих систем та можливостями їх вдосконалення. На сьогоднішній день, незважаючи на екологічні стурбованості щодо поліетиленових пакетів, розробка та дослідження систем автоматизації для їх виробництва залишається актуальними з різних причин, нижче наведені деякі з них.

Поліетиленові пакети продовжують користуватися попитом у багатьох регіонах світу через їх зручність, доступність і вартість. Вони широко використовуються у торгівлі, виробництві, сільському господарстві тощо.

Як альтернативу можна використовувати біорозкладні пакети з кукурудзяного крохмалю, які повністю розкладаються. Водночас цей процес можливий лише за певних умов. [3] З появою біорозкладних та біологічно основаних пластиків, технологія виробництва поліетиленових пакетів може адаптуватися для створення екологічно дружніших варіантів. Дослідження та розробка нових систем автоматизації можуть призвести до технологічних проривів у виробництві пакетів, що дозволять їм стати менш шкідливими для навколишнього середовища. Із зростанням інтересу до рециклінгу поліетилену, автоматизовані системи можуть також бути адаптовані для ефективного перероблення та повторного використання матеріалів. Хоча екологічна свідомість та законодавчі обмеження змушують багато країн зменшувати використання одноразових пластикових пакетів, потреба в дослідженні та розробці систем автоматизації для виробництва цих пакетів та альтернативних матеріалів залишається високою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій даної проблеми. Над дослідженням даної теми працювали різні вчені, зокрема Ганса фон Мехманн, двоє американських інженерів, які народжені в Україні, Айзеком Кольком та Рейфом С. Славсоном, які працювали для компанії "Dow Chemical", Джордж Грінбуш - відомий вчений в галузі полімерної хімії, який проводив дослідження щодо поліетилену та інших полімерів, Ойген Бамбергер, Фрідріх Тширнер та інші. [4]

Виклад матеріалів дослідження. «Поліетиленова плівка виробляється методом екструзії - роздуванням повітрям термопласта, нагрітого до в'язкотекучого стану. Для цього використовується спеціальна машина - екструдер, який продавлює підготовлену масу через формувальний отвір, і видуває поліетиленовий рукав .

Етап 1. Виготовлення плівки. Виготовлення плівки здійснюється в установці під назвою екструдер. Цей верстат висуває вимоги до висоти стель виробничого цеху. У екструдер завантажують гранули полімеру, за допомогою шнека матеріал подається в камеру нагрівання. При температурі 180...240 °С, яка підтримується автоматично, при постійному перемішуванні матеріалу він плавиться до однорідності.

Після підготовки сировини його видавлюють з камери через калібровані під певну товщину плівки круглі отвори. Розплавлена маса, яка видавлюється через отвори, утворює рукав плівки, який під напором повітря піднімається до верхньої частини екструдера, охолоджуючись по ходу руху. У верхній частині апарату плівка розрізається і намотується на барабан. Швидкість обертання барабанів для контролю натягу плівки суттєво впливає на фінальну якість плівки при виготовленні поліетиленових пакетів. Надто велика чи низька швидкість може призвести до нерівномірного натягу, що в свою чергу впливає на якість та властивості плівки. У конкретних умовах виробництва оптимальна швидкість обертання барабанів визначається емпірично, через тестування та корекцію.

При досягненні розрахункової довжини матеріалу плівка обрізається і починається намотування нового рулону. Для роботи на екструдері необхідний окремий обслуговуючий персонал. В основному установку може виконати один співробітник, який повинен буде засипати гранули у вхідний бункер і міняти барабани на пристрої що намотує.

Щоб зробити непрозору плівку різних кольорів, потрібно в бункер разом з гранулами засипати барвник. Концентрація фарбувальних речовин в виробленому продукті не перевищує 5-7%

Етап 2. Нанесення друку і логотипів. Цей етап здійснюється за допомогою флексографічної друкарської машини. Для нанесення використовуються еластичні барвники, які характеризуються підвищеним ступенем адгезії з основним матеріалом. Розводять фарби технічним спиртом і постійно перемішують в тарах пристрою. Через систему дозаторів кожен колір подається на окремий валик, в процесі змочуючи його. Ще одним із популярних методів нанесення малюнків та логотипів є шовкографія (трафарет). На валику знаходиться друкована форма, що робить на плівці друк в одному кольорі. Плівка на барабані перемотано через систему роликів і обертає пофарбовані ці елементи, що створюють потрібний малюнок. Ці операції відносять до підготовчих етапів виробництва поліетиленових пакетів.

Етап 3. Розкрій і формування. Рулон плівки з нанесеним логотипом подається в пакеторобну машину, з якої і починається виготовлення пакетів. Рулон розрізають з урахуванням потрібних характеристик ширини, формують форму майбутнього виробу і складку нижньої або бічних частин пакета. Нагрівальний прес при постійній температурі 180 °С формує донний або бокові шви. Після цього заготовка відправляється на наступний етап виробництва.

Заготовки пакетів простягаються через оптичний датчик, що визначає початок і кінець пакету по нанесеному малюнку, потім розкроювальна гільйотина вирізає пакет з заготовки за шаблоном, формує ручку. Після виробу проходять контроль якості на міцність швів і відсутність

дефектів. Схематично весь процес виготовлення зображено на рис. 1. [5]

Матеріали для виготовлення. Матеріал для виробництва поліетиленових пакетів повинен відповідати ГОСТу. Крім цього, раз в квартал треба проходити сертифікацію, надаючи для експертизи зразки. Кращим поліетиленом для виготовлення пакетів є гранули у формі кулі діаметром 3...5 мм.

До величин, які належать до автоматичного контролю і регулювання, слід віднести: витрати сировини, хімікатів, які подаються на виробництво відповідної продукції. Сировина для виробництва продукції такого типу: 1. Поліетилен високого тиску (ПВТ) відрізняється якістю, чи не токсичністю, призначений для використання в харчовій промисловості. Використовується для виробництва поліетиленових фасувальних пакетів. Продукт не рветься від шкарпетки гострих предметів, а на морозі не тріскається. 2. Поліетилен низького тиску (ПНТ) є варіанти, які підходять для контакту з харчовими продуктами, а є вироби, призначені для зберігання сипучих і сухих продуктів. Така продукція витримує вантаж великою вагою, часто ПНТ застосовують для виготовлення смітєвих мішків. Стійкий до мінусових температур і впливу хімічних реагентів» [6-8].

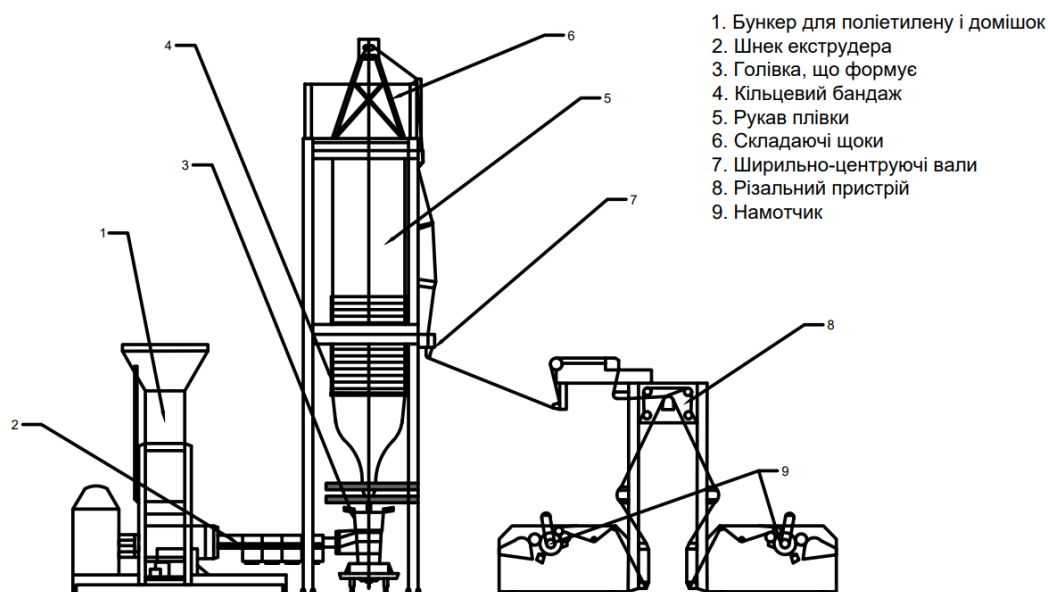


Рис. 1. Схема технологічного процесу виготовлення поліетиленових пакетів

Основні параметри технологічного процесу виготовлення поліетиленових пакетів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри технологічного процесу

№ 3/п	Параметр, що контролюється	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення %	Ступінь автоматизації
1	Температура у камері нагрівання	°C	180...240	±2	Реєстрація, контроль і управління
2	Швидкість обертання шнека	об/с	1	±0.1	Реєстрація, контроль
3	Час перебування гранул у камері нагрівання	хв	2	±0.1	Реєстрація, контроль
4	Тиск в екструдері	МПа	2	±1	Реєстрація, контроль
5	Частота обертання барабанів	об/с	1.4	±0.08	Реєстрація, контроль
6	Температура нагрівального пресу	°C	180	±1	Реєстрація, контроль і управління

Висновки. Після опрацювання, дослідження та аналізу основних етапів технологічного процесу при виготовленні поліетиленових пакетів визначено, що якість готової продукції залежить від багатьох чинників, таких як: температура у камері нагрівання екструдера, частота обертання шнека та барабанів, час плавлення гранул, тиск в екструдері та температура нагрівального пресу.

Встановлена взаємозалежність технологічних параметрів процесу дає можливість зрозуміти, що відхилення хоча б одного параметра від встановлених значень негативно відзначиться на якості та кількості виготовлення поліетиленових пакетів. Також на кінцевий результат виготовленої продукції впливає якість обладнання яке використовується, якість та тип сировини. При дотриманні всіх зазначених умов і використання передових технологій виготовлення можна досягти хорошого результату.

Можливості та перспективи подальших наукових досліджень. Розробка функціональної схеми автоматизації, підбір необхідні датчиків, виконавчих механізмів та мікропроцесорної техніки, розробка електричної схеми підключення елементів системи до мікроконтролера, розробка програми для повноцінної роботи всієї системи, проведення економічного аналізу доцільності та ефективності розробленої системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поліетиленові пакети URL: <https://www.0629.com.ua/news/1600687/polietilenovi-paketi-istoria-viniknenna> (дата звернення 01.11.23).
2. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 99 с.
3. Альтернативні джерела URL: <https://suspilne.media/136084-zitta-bez-polietilenovih-paketiv-akimi-e-alternativi-ta-ak-vidmovitisa-vid-plastiku/> (дата звернення 01.10.23р.).
4. Дослідники URL: <https://wellpacks.ua/blog/istoriya-sozdaniya-polietilenovyh-paketov> (дата звернення 01.10.23).
5. Схема URL: <https://www.mpak.ua/info/articles/kak-delaiut-pakety-maika-statia/?id=4073> (дата звернення 10.11.23).
6. Виробництво URL: <https://www.mpak.ua/proizvodstvo/>. (дата звернення 30.10.23).
7. Технологічний процес виготовлення URL: <https://dnpa.com.ua/blog/tpost/c4d5i0zl11-osoblivost-virobnitstva-poletilenovih-pa> (дата звернення 01.10.23).
8. Автоматизація виробничих процесів целюлозно-паперового виробництва: Схеми автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання целюлозно-паперового виробництва» / А. І. Жученко, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.

УДК 519.6

О. М. Решетило, В. О. Сазик, С. Ю. Сидорук

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ЧІПСІВ

Робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення чіпсів. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та контролер. Розроблено принципову електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера, на мові контактно-релейних схем – програму функціонування контролера, електричну схему зовнішніх з'єднань, схему сигналізації, щит керування та схему його живлення. Для керування автоматизованою системою технологічного процесу виробництва чіпсів з робочого місця оператора в SCADA Genesis 32 був розроблений проект з використанням OPC сервера КОНТУР II. Проведено розрахунок економічної ефективності системи автоматизації.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, чіпси, автоматизована система

O. Reshetylo, V. Satsyk, S. Sydoruk. Automated system for controlling the technological process chip production

The work is devoted to the design of an automated control system for the technological process of manufacturing chips. An analysis of the technological process as an object of management was carried out, and research tasks were defined. A functional automation scheme has been developed, technical means of automation and a controller have been selected. A basic electrical diagram for connecting sensors and actuators to the controller modules has been developed, in the language of contact-relay diagrams - a program for the operation of the controller, an electrical diagram of external connections, an alarm diagram, a control panel, and its power supply diagram. To control the automated system of the technological process of chip production from the operator's workplace in SCADA Genesis 32, a project was developed using the ORS of the KONTUR II server. The economic efficiency of the automation system was calculated.

Keywords: technological process, production, chips, automated control system, algorithm, program, controller.

Постановка проблеми.

Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва чіпів може бути дуже актуальною і корисною в сучасних умовах. Ось декілька ключових аргументів, які підтримують актуальність цієї розробки:

1. Збільшення продуктивності: Автоматизація допоможе підвищити продуктивність виробництва чіпів, оскільки система здатна працювати нон-стоп і виконувати операції швидше та безпомилково, порівняно з ручними операціями.

2. Зниження витрат: Застосування автоматизованої системи дозволить зменшити витрати на оплату праці, так як машини можуть замінити частину ручної праці. Це також може призвести до менших витрат сировини та зменшення відходів.

3. Підвищення якості продукції: Автоматизація дозволяє стабілізувати технологічний процес і зменшити людські помилки, що може покращити якість чіпів.

4. Відстеження та контроль: Система керування дозволяє відстежувати та контролювати кожний етап виробництва в реальному часі, що полегшує виявлення потенційних проблем та вчасне реагування на них.

5. Вимоги щодо якості та безпеки: Зараз існують більше суворі вимоги щодо якості та безпеки харчової продукції. Автоматизація допоможе виконати ці вимоги та забезпечити документацію, необхідну для стандартів безпеки та якості.

6. Аналіз та оптимізація: Системи керування здатні збирати дані та аналізувати їх, що дозволяє оптимізувати технологічний процес та зменшити збитки.

7. Змінність виробництва: Автоматизована система дозволяє легко змінювати параметри виробництва і виробляти різні смаки чіпів без значних перерв у виробництві.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва чіпів показав, що керування технологічним процесом здійснюється застарілими технічними засобами автоматизації та частково в ручному режимі, таким чином це не дозволяють забезпечити необхідну точність підтримання температурних та часових режимів, має значну інертність, тому не може забезпечити високу якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

«Транспортування картоплі на переробку здійснюється декількома способами: по гідротранспортеру за допомогою струменя води, автотранспортером у контейнерах, а також іншими транспортними засобами (візками, транспортерами та ін.). Передача гідротранспортерами застосовується при безтартному зберіганні картоплі (у засіках), при зберіганні ж картоплі в контейнерах на переробку її подають автотранспортерами з вилковим захватом» [1].

«При митті картоплі звільняється від піску, бруду та частково від мікроорганізмів та їх спор, внаслідок чого підвищується санітарна підготовка бульб до переробки. Добре відмиті бульби не повинні мати на поверхні та в заглибленнях осередків залишків бруду. Якість миття картоплі залежить від ступеня забруднення бульб, тривалості процесу миття, кратності та способу обміну води в мийній машині, температури води та інтенсивного взаємного тертя бульб при митті. Для миття картоплі зазвичай використовуються мийні машини лопаткового або барабанного типу» [1].

«Калібрування вимитих бульб картоплі рекомендується проводити після інспекції для зменшення витрат при очищенні, а також забезпечення можливості правильного протікання

технологічного процесу на подальших стадіях переробки. Калібрують картопля за величиною за найменшим розміром бульб на наступні три групи: дрібні – до 4, середні – від 4 до 6, великі – більше 6 см. Для виробництва хрусткої картоплі використовують бульби середнього розміру. Бульби дрібні діаметром 4 см не вигідно переробляти через великий відсоток відходів при очищенні. З великих бульб діаметром більше 6 мм нарізуються занадто великі пелюстки, що ускладнює отримання необхідної маси нетто при розфасовці в пакети стандартного розміру. Крім цього, великі пелюстки хрусткої картоплі ламкі і дають високий відсоток подрібнення у готовій продукції.

Калібрують бульби картоплі на машинах різних типів: з валиками, що обертаються, різних діаметром, з обертовим сітчастим барабаном та з плоскими вібраційними ситами.

У механізованій лінії продуктивністю 100 кг/год. готового продукту (фірми «Р. Келлі») картоплю калібрують на струшувальній машині. Машина складається з корпусу, сітчастого транспортера, виносного транспортера та похилого лотка. За допомогою сітчастого транспортера і струшувального механізму, бульби калібруються за розмірами (за найбільшим діаметром). Бульби діаметром 6 см і менше ковшовим елеватором передаються в машину для очищення картоплі, бульби більших розмірів використовуються для виробництва інших видів харчових продуктів.

В даний час за кордоном і на вітчизняних підприємствах практикується калібрувати бульби картоплі до надходження в цех (відразу після збирання або після зберігання). Якщо це не робиться, то процес калібрування бульб обов'язково передбачається в лінії виробництва чіпсів» [1].

«Миті та відкалібровані бульби інспектують, видаляючи вручну зіпсовані, пошкоджені та з іншими дефектами, а також сторонні домішки. Інспекція картоплі проводиться на сітчастих або роликівих транспортерах при швидкості руху бульб 0,1-0,12 м/с» [1].

«Термічні та хімічні способи (лугом) очищення бульб при виробництві чіпсів не застосовуються, оскільки це негативно впливає на якість готового продукту.

При виробництві чіпсів застосовується лише механічне очищення картоплі за допомогою абразивних матеріалів. Очищення картоплі абразивними матеріалами здійснюється на картоплеочисних машинах періодичної та безперервної дії.

Машина періодичної дії являє собою вертикальний циліндр з диском, що обертається, який утворює дно цього циліндра. При обертанні дна завантажені в циліндр бульби контактують з абразивним матеріалом, нанесеним рівним шаром на диск і внутрішню поверхню циліндра.

Принцип роботи абразивних картоплеочисних машин періодичної дії заснований на використанні відцентрової сили, що виникає при обертанні дна циліндра. Ця сила притискає бульби картоплі, що знаходяться в робочій камері, до стінок циліндра; при обертанні дна циліндра бульби стикаються з абразивною внутрішньою поверхнею та очищаються від шкірки.

Струмінь води, що подається в картоплечистку, омиває очищені бульби від шкірки і одночасно оберігає їх від потемніння в результаті дії ферментів.

Ефективність дії машин абразивного типу залежить від розміру та форми бульб. Бульби, що завантажуються в циліндр, повинні бути приблизно однакового розміру та округлої форми.

На картоплеочисних машинах періодичної дії з автоматизованим процесом завантаження та вивантаження бульб тривалість очищення картоплі регулюється за допомогою варіатора швидкостей залежно від сорту та стану бульб картоплі.

Для забезпечення потоковості та безперервності в роботі ліній з виробництва чіпсів картоплеочисні машини періодичної дії комбінуються у вузол, що складається із завантажувального бункера, транспортера, вагового дозатора та картоплечистки, автоматично блокованих один з одним.

Картопля з бункера подається скребковим транспортером в дозатор, що відважує порцію бульб, що відповідає ємкості машини. Дозатор складається із завантажувальної лійки, що виконана з листової сталі, яка підвішена на металевій рамі, пристосованій для встановлення на підлозі. Дверця вагового дозатора відкриваються і закриваються автоматично, при цьому картопля порціями висипається в картоплечистку. Тривалість очищення бульб регулюється за допомогою реле часу, яке налаштовується відповідно до попередньо встановленої оптимальної тривалості процесу.

На великих підприємствах використовуються картоплечистки безперервної дії. Принцип роботи безперервно діючих картоплеочисних машин заснований на тому, що бульби, переміщуючись від завантажувального отвору до вихідного, проходять через ряд камер, всередині яких розташовані ролики, що обертаються, покриті абразивним матеріалом. У перших камерах на ролики нанесений крупнозернистий карборунд, а в останній вони мають дрібнозернисту поверхню, що сприяє утворенню гладкої поверхні бульби. Шкірка знімається з бульб у результаті їх

багаторазового перевертання та тертя об ролики. Шкірка, що відокремилася, змивається з поверхні бульб видаляється з машини водою. Швидкість обертання роликів регулюється та встановлюється залежно від розмірів бульб та стану картоплі.

Для виготовлення чіпсів з бульб має бути рівномірно видалений найтонший поверхневий шар.

Великий вплив на ефективність роботи картоплечисток надає форма бульб і якість картоплі, що обробляється. Круглі бульби зручніші для очищення в абразивних картоплеочисних машинах, ніж довгасті. Перевантаження машини призводить до зниження якості очищення та збільшення відходів. Бульби, що отримали зрізи при збиранні, не обертаються в машині і ковзають по абразивній поверхні, в результаті чого при виході з машини на поверхні залишається шкірка. При обробці бульб різної величини якість очищення їх погана. При очищенні дрібних бульб виходить більший відсоток відходів, ніж при очищенні великих бульб. На якість очищення також значно впливає сорт картоплі. Сорти картоплі з глибоким заляганням вічок після очищення в абразивній картоплечистці вимагають великої витрати робочої сили для видалення вічок вручну. Свіжоприбрана картопля, покрита ніжною шкіркою, дає менший відсоток відходів, ніж бульби, що зберігалися» [1].

«Після видалення з поверхні бульб шкірки проводиться доочистка бульб, при якій видаляються вічка, пошкоджені частини, темні плями, місця, що пошкоджені комахами і хворобами, позеленілі місця і т.д. Бульби доочищують вручну за допомогою ножів із лезами клиноподібної або закругленої форми на спеціальних столах до чищення з трьома паралельними транспортерами, що розташовані в одній площині. По транспортерам, що розташовані уздовж обох сторін столу, картопля подається на чистку, а по середній стрічці дочищена картопля переміщається на подальшу обробку» [1].

«Очищені та доочищені бульби обов'язково піддаються інспекції, при якій контролюється якість очищення та доочистки бульб.

Очищену картоплю інспектують на роликовому транспортері під час переміщення бульб на наступну технологічну операцію. Обертання роликів навколо своєї осі забезпечує можливість огляду бульб з усіх боків» [1].

«Бульби картоплі ріжуть на тонкі скибочки на картоплерізальних машинах різного типу. Найбільшого поширення набули машини роторного типу.

Картоплерізальні машини роторного типу бувають з ножами, закріпленими на нерухомому диску і циліндрі, що обертається, і з ножами, закріпленими по дотичній нерухомого циліндра.

Циліндричне картоплерізання з ножами, закріпленими на нерухомому диску з циліндром, що обертається, складається з нерухомого диска, на якому встановлено 8 знімних ножів. Циліндр має 6-8 поздовжніх ребер висотою 70 мм і товщиною 10 мм. Діаметр циліндра становить 480 мм, а висота 120-140 мм. Картопля подається транспортером і через приймальний бункер, що встановлений над картоплерізкою, потрапляє в циліндр. У міру обертання циліндра бульби картоплі під впливом відцентрової сили притискаються до стінок. При зіткненні їх з ножами зрізаються рівномірні тонкі пластинки, які по дотичній нижнього бункера потрапляють на транспортер і направляються на подальшу обробку. Продуктивність машини цього типу становить від 1200 до 1800 кг/год.

Картоплерізальна машина з ножами, закріпленими по дотичній нерухомого барабана працює наступним чином.

Бульби в машину потрапляють через приймальний бункер, що розташований у верхній частині картоплерізки. Дно його виготовлене з дроту, щоб сторонні домішки відокремлювалися, перш ніж потраплять на ножі. Картопля потрапляє в порожнину, відкриту по дотичній, але з радіальними перегородками (проміжок між ними та циліндром з ножами становить не більше 5 мм) та денцем для утримання бульб на рівні ножів. Під впливом відцентрової сили бульби притискаються до дотичної та з них зрізаються скибочки. Скибочки картоплі, пройшовши між отворами, утвореними стінками ножового циліндра та лезом ножа, потрапляють на транспортер, що передає їх на подальшу обробку. Продуктивність машини такої становить 1800 кг/год.

Незалежно від конструкції картоплерізки у приймальні бункера подається вода, яка спеціальними насадками розбризкується в циліндрі. Це робиться для запобігання потемнінню скибочок картоплі та для змивання крохмалю зі стінок циліндра та ножів. Витрата води при різанні бульб складає 36-45 л/хв.

Роторні машини дозволяють забезпечити різання бульб картоплі на скибочки завтовшки від 0,7 до 1,8 мм. Оптимальною для скибочок чіпсів вважається товщина від 1 до 1,2 мм. Рівномірна товщина скибочок забезпечує рівномірність кольору та ступеня прожарювання чіпсів. Дуже тонкі

скибочки при обсмажуванні швидко пригорають і скручуються, а занадто товсті починають темніти, перш ніж з них у процесі обсмажування видаляється вся волога. Крім того, товсті скибочки зазвичай жорсткіші внаслідок наявності в них зайвої вологи, яка не встигає видалитись під час обсмажування.

Поверхня скибочок сирого картоплі має бути гладкою, оскільки при шорсткому зрізі порушується цілісність клітин, внаслідок чого збільшуються втрати поживних речовин. Крім цього, при шорсткій поверхні поглинання масла скибочками при обсмажуванні збільшується, в результаті чого підвищується його витрата.

Для отримання рівномірних за товщиною та гладких скибочок картоплі необхідно стежити за правильною установкою ножів та їх гарним заточуванням.

Чіпси також виготовляють з гофрованою (хвилястою) поверхнею. Для фігурного різання картоплі з хвилеподібною поверхнею застосовуються спеціальні ріжучі ножі. Чіпси з хвилеподібною поверхнею має меншу ламкість, ніж з гладкою і тому більш транспортабельні» [1].

«Після різання скибочки картоплі відразу ж направляються на промивання. Промивання нарізаної картоплі необхідне для видалення крохмалю, цукру та інших речовин, що входять до складу клітинного соку, що з'явилися на поверхні картоплі внаслідок порушення клітин тканин бульб при їх різанні. Скибочки необхідно ретельно промивати, інакше якість чіпсів буде низькою. Так, при недостатньо повному видаленні крохмалю з поверхні скибочок вони злипатимуться при обсмажуванні, а в результаті клейстеризації крохмалю – не будуть хрусткими. Залишки цукру на погано промитій поверхні скибочок викликає потемніння їх при обсмажуванні внаслідок реакції меланоїдиноутворення.

Скибочки промивають у мийній машині барабанного типу струменем води під тиском 2,5-3 кгс/см². Мийна машина для промивання нарізаної картоплі складається з прямокутної ванни і сітчастого барабана, що обертається, зроблених з нержавіючої сталі. Отвори сітки барабана можуть бути різного профілю, але за розміром повинні забезпечити видалення дрібних шматочків картоплі, не придатних для подальшого виробництва. При обертанні барабана скибочки перевертаються водою і обмиваються з усіх боків. Змитий крохмаль і шматочки картоплі збираються в уловлювачі-відстійнику, що розташований в нижній частині машини. Відстійник періодично очищають від крохмалю та шматочків картоплі. Кількість нерозчинних речовин, що вловлюються, становить близько 0,2%, Промиті скибочки за допомогою сітчастого транспортера направляють у другу барабанну мийну машину, де вони промиваються водою вдруге. Тоді скибочки остаточно ополіскуються на сітчастому транспортері струменями води, що подається з сопел, які встановлені над цими транспортерами.

Витрата води в середньому становить 8000 л на 1 т скибочок. Втрати при різанні та промиванні скибочок коливаються від 0,5 до 1% до ваги сировини, що переробляється.

На даній лінії, для отримання хрусткої картоплі, для промивання скибочок використовується одна барабанна мийна машина.

Для остаточного відмивання крохмалю скибочки після миття проходять по двох злегка похилих сітчастих транспортерах під сильними струменями води, що подається під тиском через сопла, які розташовані над цими транспортерами. При цьому скибочки обполіскують перший раз холодною водою, а другий – теплою водою, нагрітою до температури 45 °С.

Промивання скибочок теплою водою, нагрітою до 35-45 °С, сприяє кращому видаленню цукрів, що редукують. Так, у разі промивання скибочок картоплі в холодній воді кількість редукованих цукрів зменшується в середньому на 42,5% порівняно з наявністю в бульбах, а при використанні теплої води кількість відмитих цукрів знижується на 66,3%. На вміст відмитого в цих умовах крохмалю підігрів води не надає істотного впливу.

Зазвичай у лінії виробництва чіпсів машини для промивання скибочок монтують з картоплерізками роторного типу» [1].

«Після промивання скибочок з їхньої поверхні видаляють вологу для скорочення тривалості процесу обсмажування. При обсмажуванні картопляних скибочок без видалення поверхневої води процес значно подовжується, у зв'язку з чим підвищується поглинання масла продуктом. За рахунок видалення поверхневої вологи вологість сировини зменшується приблизно на 4%. Видалення вологи з поверхні скибочок картоплі може здійснюватися в сітчастих барабанах, що обертаються, вібруючих сітчастих транспортерах, віджимних вальцях, покритих губчастою гумою, обдуванням стисненим або підігрітим повітрям» [1].

«Підготовлені картопляні скибочки обсмажують у печах безперервної дії в рослинній олії, нагрітій до 170-180 °С, протягом 1,5-2 хв. залежно від вмісту сухих речовин у картоплі.

Безперервно діюча обжарювальна піч, складається з плоскодонної з похилими торцевими стінками масляної ванни, виготовленої з листової нержавіючої сталі, вхідного та вихідного сітчастих транспортерів, грабельно-пластинчастого пристрою для просування нарізаної картоплі через олію, циркуляційної системи, поживних баків.

Грабельно-пластинчастий пристрій для пересування обсмаженої картоплі виготовлено з плоских перфорованих коробів, у днищі яких закріплені 5-міліметрові штирі (пальці) завдовжки 35-40 мм, що розташовані в шаховому порядку на відстані 50 мм один від одного. Пластинчасті коробки закріплені на ексцентрикових валах, які повідомляють коробам крокуючий рух.

Процес обсмажування відбувається в такий спосіб.

Нарізані скибочки сирій картоплі потрапляють на сітчастий вхідний транспортер, а звідти – в нагріту олію при вході до робочої ванни. Завдяки волозі, що знаходиться в сирій картоплі, скибочки тонуть у маслі, ковзаючи по похилій торцевій стінці ванни. Під впливом високої температури олії волога, що міститься в скибочках картоплі, швидко випаровується, їхня маса зменшується і вони спливають на поверхню, потрапляють на вихідний транспортер, який виносить їх з печі. Середня швидкість просування скибочок за допомогою грабельно-пластинчастого пристрою 0,14-0,16 м/с. Зверху піч закривається кожухом із нержавіючої сталі.

Для видалення парів води та продуктів розкладання олії над піччю встановлюють витяжні труби з листової нержавіючої сталі над місцем завантаження сирій картоплі в піч і над місцем вивантаження обсмажених скибочок. Витяжні труби забезпечені спеціальним пристроєм для уловлювання конденсату, запобігаючи потраплянню його крапель у олію.

У процесі обсмажування скибочок у печі здійснюється не перервна циркуляція олії, яка надходить у завантажувальну та видаляється з розвантажувальної частини робочої ванни. При обсмажуванні картоплі велике значення має безперервна фільтрація олії, при якій видаляються згорілі шкіряні вічки і підгорілі частинки картоплі. Вона здійснюється за допомогою барабана з фільтром із металевої сітки з 200-250 отворами на 1 см. Фільтр затримує частинки розміром більше 3 мм. Відфільтрована олія збирається на дні барабана і перекачується до збірки. Після фільтрації олія повертається у піч. Одночасно з цим автоматично додається свіжа олія з живильного баку, тому рівень олії в обсмажувальній ванні завжди залишається постійним. Для нагрівання олії в печах використовують продукти згорання газу чи нафти, котрий іноді електрику.

Залежно від застосовуваної системи нагрівання розрізняють: печі з прямим підігрівом олії полум'ям пальників газової або нафтової топки; печі, в яких нагрівання олії здійснюється через трубчастий теплообмінник, що розташований в олії; печі з виносним теплообмінником, у яких в якості теплоносія використовуються продукти згорання газу або нафти; печі з виносним теплообмінником, в трубки якого подається рідкий високотемпературний теплоносій.

Для промислового використання найбільш раціональними є печі з виносними теплообмінниками, в яких в якості теплоносія використовуються продукти згорання газу.

Особливістю печей такої конструкції є те, що олія не перегрівається, оскільки вона надходить у робочу ванну підігрітим до необхідної температури в спеціальному теплообміннику.

Теплообмінник складається з топки та камери з розташованим у ній змійовиковим трубопроводом, яким нагріте масло подається в робочу ванну. Олія перед подачею в піч - фільтрується, після чого зі швидкістю 800-900 м/хв. перекачується за допомогою насоса через окремо розташований теплообмінник в завантажену частину робочої ванни, а потім видаляється трубопроводом з розвантажувальної частини на фільтр, і цикл повторюється заново.

Для обсмажування чіпсів використовують свіжі рафіновані або обезводнені олії з мінімальним кислотним числом (не більше 0,3 мг 0,1 н. КОН).

Кращими для обсмажування картопляних скибочок є рафінована та дезодорована кукурудзяна, арахісова та бавовняна олії, а також обезводнена, дезодорована та рафінована соняшникова олія.

Іноді для стійкості олії до неї додають антиоксидантні речовини, що з'єднуються з киснем швидше, ніж він встигне вступити в реакцію з жирами (бутилоксианізол, бутилокситолуол), що сприяє підвищенню стійкості готового продукту при зберіганні» [1].

«З обсмажувальної печі чіпси надходить на сітчастий транспортер або вібротранспортер, на якому з поверхні скибочок стікає зайва олія. Скибочки, звільнені від надлишку олії, подають на соління. На шляху руху скибочок над транспортерами поміщають дозатор солі, що здійснює безперервне соління чіпсів, що виходять з обсмажувальної печі. Він є подовженим бункером з поперечним перерізом у вигляді трапеції, зверненої основою вгору; по всій довжині дозатора, що дорівнює ширині розвантажувального транспортера обсмажувальної печі, є щілина, що

прикривається рифленим валом. При обертанні валу сіль, що знаходиться в заглибленнях його рифленої поверхні, безперервно сиплеться на чіпси, що рухається по транспортеру. Обсмажені скибочки картоплі обсипають сіллю в кількості 1,5-2% до їхньої маси. Для соління чіпсів використовується поварена сіль найвищої якості дрібного помелу білого кольору (сорт "Екстра").

Для покращення смаку чіпсів рекомендують додавати до них різні смакові добавки та спеції. Добавки у вигляді порошкових сумішей вносять у чіпси або одночасно з солінням, або після соління, використовуючи для цього спеціальні дражувальні котли, що забезпечують цілість скибочок. До чіпсів додають білковий збагачувач їжі, сир зелений, корицю, цукор, червоний перець, кмин, чорний перець, томатний порошок, гвоздику, цибулю і часник, лавровий порошок.

Смакові та харчові добавки додають до чіпсів у такій кількості (у відсотках): білковий збагачувач їжі – 8,0; гвоздика – 0,4; червоний перець – 0,5; чорний перець – 1,0; лавровий порошок – 0,15; кориця з цукровою пудрою відповідно – 2 та 8.

Дослідження показали, що додавання різних прянощів, не тільки покращує смакові властивості чіпсів, але і сприяє кращому їх збереженню, так як більшість прянощів має антиокислювальні властивості. Так термін зберігання чіпсів, виготовлених на бавовняній олії з добавками чорного перцю, кмину та шавлії, збільшується на 24 дні» [1].

«Після соління та додавання смакових приправ чіпси надходить на інспекційний транспортер, на якому відбраковують підгорілі, потемнілі, необсмажені та інші дефектні скибочки.

Після інспекції чіпси надходить на охолодження, яке рекомендується проводити в природних умовах, не вдаючись до прискорення цього процесу за допомогою штучного охолодження або обдування, оскільки це може призвести до погіршення якості чіпсів. Охолоджують чіпси на транспортері з нержавіючої сталі, анодованого алюмінію або інших металів, що не кородують від солі. Оптимальна довжина транспортерів 12-18 м, його ширина залежить від продуктивності та кількості обсмажувальних печей.

Іноді інспекція та охолодження чіпсів здійснюються на вібротранспортері, після чого картопля надходить на вібросито для відділення подрібнення та крихт, а тоді направляється на розфасовку та упаковку» [1].

«Обсмажені скибочки картоплі після інспекції та охолодження подають на розфасовку та упаковку. Чіпси розфасовують на расфасовочно-пакувальних автоматах в пакети з термозварюваних матеріалів розважуванням 25, 50 і 100 г або в коробки з паперу щільністю 220-240 г на 1 м² з внутрішнім пакетом з пергаменту масою нетто 50 і 100 г. машини виготовляють пакети, відважують задану порцію продукту та заклеюють пакети.

На деяких фасувальних машинах є пристрої для автоматичного дозування в пакети з готовою продукцією різних смакових та ароматичних добавок. Автоматичні фасувальні машини бувають продуктивністю від 50 до 80 пакетів на хвилину.

Запечатані пакети з чіпсами з розфасувально-пакувальних машин надходять на транспортер, що передає їх на столи для упаковки, що обертаються, в зовнішню тару – фанерні ящики, вистелені обгортковим папером, в ящики з гофрованого картону, в паперово-литі ящики. Укладання пакетів чіпсів у коробки з гофрованого картону та заклеювання цих коробок виготовляються вручну. У коробка вміщується по 60 або 120 пакетів чіпсів при масі одного пакета 50 г.

Після заклеювання коробка укладають на піддони та автотранспортером з підйомною вилкою транспортують для навантаження на автотранспорт і відправлення споживачам або укладають на зберігання у складі.

Весь цикл виробництва чіпсів з моменту надходження сировини на переробку до пакування готової продукції до зовнішньої тари становить 30 хв. Швидке перетворення картоплі на готовий харчовий продукт позитивно позначається на його споживчих властивостях.

На виробництво 1 т чіпсів витрачається (в кг): свіжої картоплі – 3900, олії бавовняної дезодорованої – 420, солі "Екстра" – 18» [1].

Параметри технічного процесу виробництва чіпсів приведені в таблиці 1.

Оскільки вода для відділення крохмалю з скибочок готується в окремому приміщенні, то контроль та регулювання її температури в даній системі автоматизації не розглядається.

Тому система автоматизації, що розробляється повинна виконувати наступні задачі:

- автоматичне вмикання і вимикання приводів технологічного устаткування;
- контроль та регулювання температури олії для обсмажування скибочок чіпсів;
- контроль часу обсмажування скибочок картоплі в олії;
- контроль та регулювання кількості солі у відношенні до кількості чіпсів;

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

– контроль та регулювання кількості смакових та харчових добавок, що додають до чіпсів.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва чіпсів можна зробити наступні висновки.

Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом виробництва чіпсів мають ряд недоліків, зокрема частина технологічних операцій обмежуються лише візуальним контролем та ручним керуванням і регулюванням, тривалість очищення бульб та часу обсмажування скибочок регулюється за допомогою реле часу із значними відхиленнями.

Таблиця 1 – Параметри технічного процесу виробництва чіпсів

№ з/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Допустимі межі	Відхилення
1.	Розмір бульб	см	4-6	$\pm 0,5$
2.	Швидкість руху бульб по інспекційному транспортеру	м/с	0,1-0,12	$\pm 0,01$
3.	Витрата води при різанні бульб	л/хв.	36-45	± 1
4.	Товщина нарізання скибочок бульб	мм	1-1,2	$\pm 0,1$
5.	Тиск води у мийній машині	кгс/см ²	2,5-3	$\pm 0,1$
6.	Температура води для промивання скибок	°С	35-45	± 1
7.	Температура олії при обсмажуванні скибочок чіпсів	°С	170-180	± 5
8.	Час обсмажування скибочок картоплі в олії	хв.	1,5-2	$\pm 0,1$
9.	Температура охолодження скибок	°С	20-25	± 1
10.	Кількість солі у відношенні до кількості чіпсів	%	1,5-2	$\pm 0,1$
111.	Кількість смакових та харчових добавок, що додають до чіпсів: – білковий збагачувач їжі – гвоздика – червоний перець – чорний перець – лавровий порошок – кориця – цукрова пудра	%	8,0 0,4 0,5 1,0 0,15 2 8	$\pm 0,1$

Для забезпечення високої продуктивності лінії та якості готової продукції потрібно:

13. провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
14. розробити функціональну схему автоматизації та описати її;
15. обґрунтувати вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
16. розробити електричну схему підключення датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера;
17. розробити програмне забезпечення для контролера;
- 6) провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Виклад основного матеріалу.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва чіпсів як об'єкта керування, показав, що основними технологічними операціями, що суттєво впливають на якість готової чіпсів є температура смаження скибочок та температура їх охолодження.

Функціональна схема автоматизації наведена на рисунку 1.

Основними технологічними стадіями виробництва чіпсів є миття картоплі з відбиранням каміння, очищення бульб від шкірки та вічок, інспекція бульб, калібрування бульб, нарізання слайсів, відмивання їх від крохмалю, обсмажування слайсів, охолодження чіпсів та дражирування.

Бульби картоплі з бункера 1 надходять на витратомір, звідки поступають в мийну машину 2, де бульби очищаються від ґрунту та відділяється каміння. При цьому сигнал з витратоміра поступає на модуль аналогового вводу контролера. Одночасно в мийну машину 2 насосом подається вода, електродвигун приводу якого вмикається пускачом NS 3-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Заданий рівень води в бункері мийної машини 2 контролюється датчиком LE 2-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу, і регулюється шляхом вмикання/вимикання насоса подачі води. Перемішування картоплі в бункері здійснюється лопатями мішалки, електродвигун приводу якої вмикається пускачом NS 4-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Відвантаження картоплі з мийної машини 2 здійснюється конвеєром 3, електродвигун приводу якого вмикається пускачом NS 6-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. При цьому відділення бульб картоплі від каміння здійснюється механічним способом. Забруднена вода направляється на очищення та подальше повторне використання в технологічному процесі. Для цього з модуля аналогового виводу поступає сигнал на виконавчий елемент NS 5-а, що змінює пропускну здатність електроклапана.

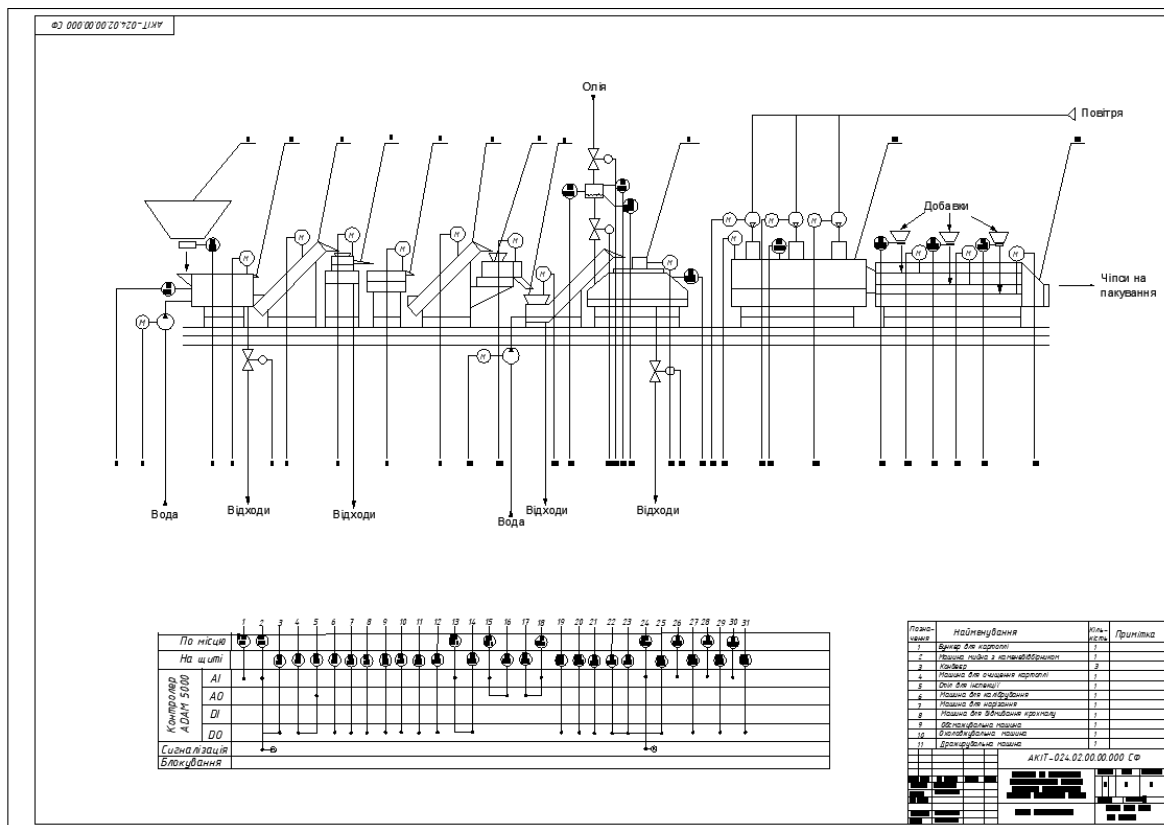


Рисунок 1 – Функціональна схема автоматизації

Конвеєром 3 бульби картоплі завантажуються у машину 4 для очищення бульб від шкірки та вічок механічним способом методом тертя одна об одну та шорстку поверхню ємності машини. Перемішування бульб в ємності здійснюється лопатями мішалки, електродвигун приводу якої вмикається пускачом NS 7-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Відходи з машини самотпливом поступають в каналізаційну систему підприємства.

З машини для очищення 4 бульби самотпливом поступають на стіл для інспекції 5, де люди вручну відбирають пошкоджені бульби. Електродвигун приводу інспекційного стола 5 вмикається пускачом NS 8-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. З інспекційного стола 5 бульби самотпливом поступають на калібрувальну машину 6, електродвигун приводу якої вмикається пускачом NS 9-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Розділення бульб на фракції реалізовано механічним способом шляхом проходження зон сортування, які являють собою прорезинені гофровані вали, що обертаються.

З калібрувальної машини 6 бульби заданої фракції поступають в машину 7 для нарізання їх на слайси. Електродвигун приводу машини вмикається пускачом NS 10-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера.

Після нарізання слайси самопливом поступають в машину 8 для відмикання їх від крохмалю. Для цього в ємність машини насосом подається вода, електродвигун приводу якого вмикається пускачом NS 12-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Електродвигун приводу машини вмикається пускачом NS 11-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Вода з вмістом крохмалю направляється на подальше відділення та сушіння, а вода повторно використовується в технологічному процесі.

Далі слайси поступають у обсмажувальну машину 9. Процес обсмажування здійснюється в гарячій олії, яка при відкритті електроклапана за допомогою пускача NS 16-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера, подається в теплообмінник. Рівень олії в теплообміннику контролюється датчиком LE 15-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера, і регулюється шляхом періодичного відкриття/закриття електроклапана пускачем NS 16-а. Нагрівання олії до заданої температури здійснюється за допомогою тена, напруга на який подається пускачем NS 14-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Температура олії контролюється датчиком TE 13-б, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера, і регулюється шляхом періодичної подачі напруги на тен NS 14-а з модуля дискретного виводу контролера. Олія в обсмажувальну машину подається шляхом зміни пропускної здатності електроклапана виконавчим елементом NS 17-а, сигнал на який поступає з модуля аналогового виводу контролера. Рівень в обсмажувальній машині контролюється датчиком LE 18-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера, і регулюється шляхом зміни пропускної здатності електроклапана виконавчим елементом NS 17-а, сигнал на який поступає з модуля аналогового виводу контролера. Відпрацьована олія періодично зливається з обсмажувальної машини шляхом відкриття електроклапана пускачом NS 20-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера, і направляється на корм тваринам.

Обсмажені слайси поступають в охолоджувальну машину 10. Привід транспортера машини здійснюється за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачом NS 21-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Для охолодження слайсів в машину трьома вентиляторами, що вмикаються відповідно пускачами NS 22-а, NS 23-а та NS 25-а, подається охолоджене повітря. Температура в охолоджувальній машині контролюється датчиком TE 24-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера, та регулюється шляхом ввімкнення різної кількості вентиляторів.

Охолодженні слайси поступають в дражировальну машину 11. В даній машині відбувається почергове нанесення на поверхню слайсів солі, смакових добавок та різного виду приправ, що знаходяться в окремих ємностях машини.

Привід першого транспортера здійснюється за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачом NS 27-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Кількість компонента, що подається на слайси з першої ємності, контролюється датчиком FE 26-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера.

Привід другого транспортера здійснюється за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачом NS 29-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Кількість компонента, що подається на слайси з другої ємності, контролюється датчиком FE 28-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера.

Привід третього транспортера здійснюється за допомогою електродвигуна, що вмикається пускачом NS 31-а, сигнал на який поступає з модуля дискретного виводу контролера. Кількість компонента, що подається на слайси з третьої ємності, контролюється датчиком FE 30-а, сигнал з якого поступає на модуль аналогового вводу контролера.

Далі готові чіпси направляються у фасувальну машину, яка є повністю автоматизованою, і може бути різного типу, тому в даному технологічному процесі не розглядається.

В розробленій автоматизованій системі керування:

- для контролю кількості бульб, що подається на лінію, та добавок, що подаються в дражировальну машину, використовується ротаційний витратомір ARAG WOLF 10-200;
- для вимірювання рівня в ємностях технологічного обладнання використовуються радарні датчики рівня IFM LR7000;
- для вимірювання температури на різних етапах технологічного процесу використовуються датчики WIKA TR36 – 14497525;

- для вмикання живлення електродвигунів приводів технологічного устаткування лінії використовуються контактор ETI R-40-40 (2463411) 24В AC, 4НО;
- для зміни продуктивності електроклапанів подачі та зливу олії з обсмажувальної машини використовуються електроклапан Rain Bird 100-DV-MM;
- автоматизована система керування побудована на базі промислового контролера ADAM серії 5000;
- модулі вводу/виводу контролера розміщуються у шасі контролера на 8 слотів Advantech ADAM-5000E з мережевим інтерфейс RS-485 (Modbus RTU та ASCII-команди);
- для під'єднання датчиків витрати, рівня та температури використовуються два 8-канальні модулі аналогового вводу ADAM-5017H-BE;
- для під'єднання соленоїдів електроклапанів використовується 4-канальний модуль аналогового виводу ADAM-5024-A2E;
- для під'єднання контакторів використовуються два 16-канальні модулі дискретного вводу/виводу ADAM-5050-A2E;
- для живлення автоматизованої системи керування використовується блок живлення Mean Well з кріпленням на DIN-рейку MDR-60-24 напругою 24 В потужністю 60 Вт.

На рисунку 2 приведена принципова електрична схема під'єднання датчиків та виконавчих механізмів до модулів вводу/виводу контролера ADAM серії 5000.

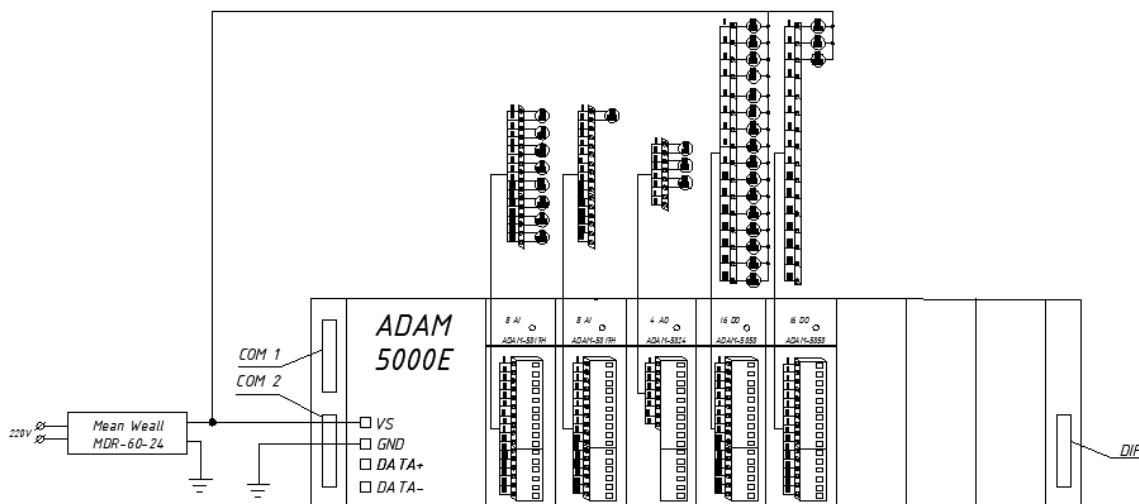


Рисунок 2 – Принципова електрична схема

Два 8-канальні модулі аналогового вводу ADAM-5017H-BE, модуль аналогового виводу ADAM-5024-A2E та два 16-канальні модулі дискретного вводу/виводу ADAM-5050-A2E розміщені у шасі контролера ADAM-5000E з мережевим інтерфейс RS-485 (Modbus RTU та ASCII-команди).

Для живлення шасі контролера ADAM-5000E під'єднано до блока живлення Mean Well MDR-60-24 напругою 24 В потужністю 60 Вт за двопровідною схемою.

До двох модулів аналогового вводу ADAM-5017H-BE під'єднані датчики витрати, рівня та температури, розпіновка підключення наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Підключення датчиків витрати, рівня та температури до модулів аналогового вводу ADAM-5017H-BE

Номер модуля	Номер каналу вводу	Датчик
1	AI0	FE 1-a
	AI1	FE 2-a
	AI2	TE 13-a
	AI3	LE 15-a
	AI4	LE 18-a
	AI5	TE 24-a
	AI6	FE 26-a
	AI7	FE 28-a
2	AI0	FE 30-a

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

До модуля аналогового виводу ADAM-5024-A2E під'єднані соленоїди електроклапанів, розпіновка підключення наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Підключення соленоїдів електроклапанів до модуля аналогового виводу ADAM-5024-A2E

Номер модуля	Номер каналу вводу	Датчик
1	AOI0	NS 5-a
	AO1	NS 16-a
	AO2	NS 17-a

До двох модулів дискретного вводу/виводу ADAM-5050-A2E під'єднані контакторів, розпіновка підключення наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 – Підключення RJYNFRNJHSD до модулів дискретного вводу/виводу ADAM-5050-A2E

Номер модуля	Номер каналу вводу	Датчик
1	DO0	NS 3-a
	DO1	NS 4-a
	DO2	NS 6-a
	DO3	NS 7-a
	DO4	NS 8-a
	DO5	NS 9-a
	DO6	NS 10-a
	DO7	NS 11-a
	DO8	NS 12-a
	DO9	NS 19-a
	DO10	NS 20-a
	DO11	NS 21-a
	DO12	NS 22-a
	DO13	NS 23-a
	DO14	NS 25-a
2	DO15	NS 27-a
	DO0	NS 29-a
	DO2	NS 31-a
	DO3	NS 14-a

Оскільки для керування автоматизованою системою технологічного процесу виготовлення чіпсів було обрано промисловий контролер ADAM серії 5000, то для розробки програмного забезпечення вищого рівня (панелі керування оператора) було використано продукт фірми Iconics, а саме SCADA-систему „Genesis 32”, що базується на стандарті OPC. Тобто технічні засоби автоматизації розробленої системи керування зможуть обмінюватись даними з персональним комп'ютером. Окрім цього, якщо кількість ТЕГів (сигналів) в проекті не перевищує 32, як і у нашому випадку, то даний продукт є безкоштовним.

Крім цього до складу Genesis32 входить середовище редагування сценарних процедур, що забезпечує можливість розробки частини програмного забезпечення засобами Microsoft Visual Basic. Всі програмні компоненти пакету реалізовані на базі багатопоточної моделі і підтримують технологію ActiveX.

Панель керування оператора технологічного процесу виготовлення чіпсів розроблено в додатку GraphWorX 32, загальний вигляд якої в режимі Розробки наведено на рисунку 3, а в режимі виконання – на рисунку 4.

Для створення зображення конструктивних елементів технологічного процесу використано окремі стандартні символи із бібліотеки програмного продукту, а відсутні – розроблено самостійно.

Запуск технологічного процесу відбувається після натискання на кнопку «СТАРТ», що знаходиться на панелі керування оператора.

В розробленому проекті використано 6 локальних змінних:

– ~start~ – змінна запуску технологічного процесу, значення якої визначаються за

формулою $x = \text{if}(\{\sim\text{start}\} < 4000, \{\{\sim\text{start}\} + 10, 0\})$;

– $\sim\text{t}$ – змінна керування температурою олії, що подається в обсмажувальну машину, що може приймати значення від 0 до 100 °C;

– $\sim\text{t1}$ – змінна керування температурою охолодження чіпсів, що може приймати значення від 0 до 50 °C;

– $\sim\text{kr1}$ – змінна керування клапаном подачі холодної води в мийну машину, що може приймати 0 або 1;

– $\sim\text{kr2}$ – змінна керування клапаном подачі холодної води в машину для відмивання крохмалу, що може приймати 0 або 1;

– $\sim\text{kr3}$ – змінна керування клапаном подачі олії в обсмажувальну піч, що може приймати 0 або 1.

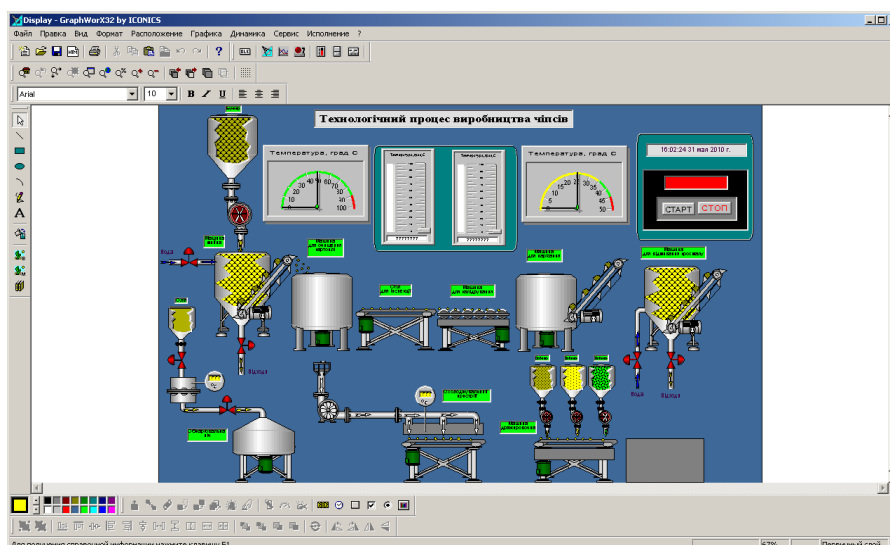


Рисунок 3 – Загальний вигляд проекту технологічного процесу виготовлення чіпів в SCADA-системі „Genesis 32” в режимі Розробки

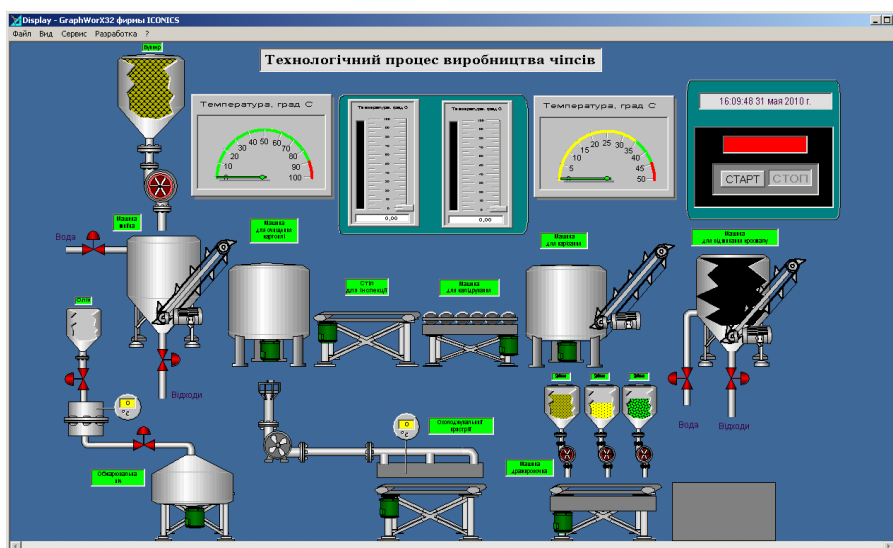


Рисунок 4 – Загальний вигляд панелі керування оператора

Всі змінні мають початкове значення, що рівне нулю, та являють собою динамічний сигнал, який доступний для читання зі сторони всіх OPC клієнтів проекту.

Частота оновлення сигналів управління становить 50 і 100 мс.

Зображення процесів роботи дозаторів та вентилятора виконано за допомогою ефекту Анімації. Для цього були побудовані групи графічних об'єктів, кожен з яких розглядався, як кадр із заданим номером, та задавалась послідовності їх відображення. Автоматична зміна кадрів з заданим періодом відбувається в режимі Виконання, коли зв'язане джерело даних (змінна), що знаходиться

у вибраному логічному стані (True або False). Послідовне відображення об'єктів (кадрів) відбувається до тих пір, поки зв'язане джерело даних не прийме протилежний логічний стан.

Стадії протікання технологічного процесу виготовлення чіпсів наведені на рисунках 5-9.

Інструмент Приховати/Блокувати дозволяє встановити динамічне з'єднання об'єкта з булевим значенням джерела даних, при якому графічний об'єкт в режимі Виконання буде зникати з екрану, коли зв'язане булеве значення рівне True або False.

Розробка проекту технологічного процесу виготовлення чіпсів в SCADA-системі „Genesis 32” забезпечує вирішення наступних задач:

- збір, первинна обробка, відображення в реальному режимі часу та накопичення інформації про значення параметрів технологічного процесу і відомості про стан обладнання, від контролера;
- виявлення та облік критичних і аварійних ситуацій;
- вивід на екран оператора технологічні і аварійні повідомлення, їх реєстрація в файлі повідомлень з встановленою глибиною збереження і можливістю наступного перегляду і друку у вигляді списку стрічок за заданий період часу і, при необхідності, з фільтрацією за категоріями;
- архівування значень аналогових і дискретних змінних у файлах процесу з настройкою глибини та періодичності поповнення з важливістю їх подальшого переглядання у вигляді графіків часових трендів за заданий період часу і, при необхідності, з фільтрацією по іменам змінних;
- контроль дій оператора шляхом їх реєстрації;
- автоматичний виклик через задані інтервали часу або по командам від пристроїв вводу інформації, що описані користувачем алгоритмів, обробку текучих значень змінних і управління процесом;
- друк звітів.

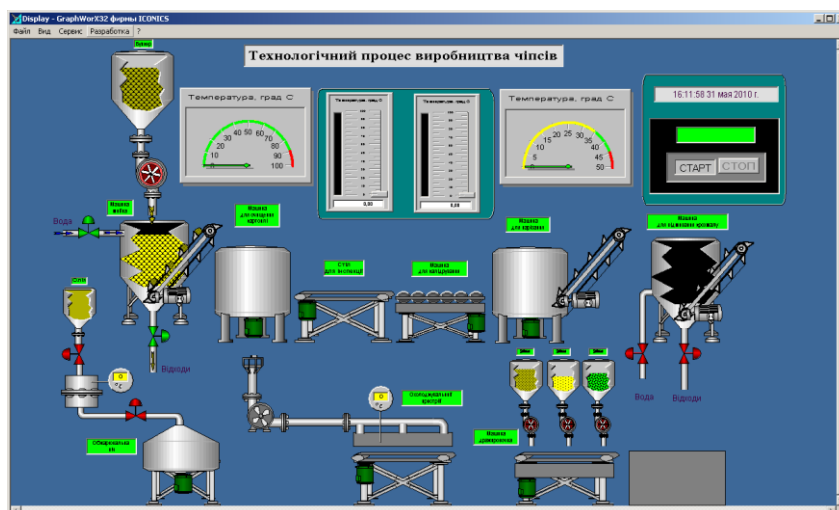


Рисунок 5 – Миття картоплі

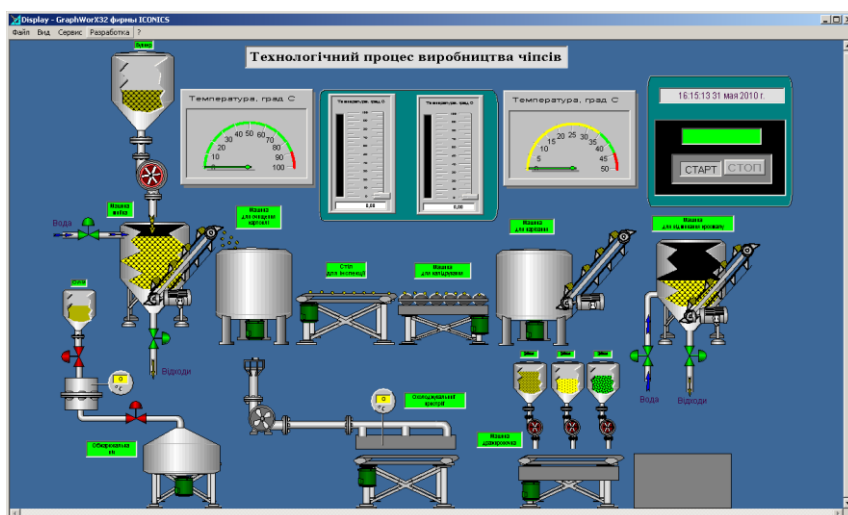


Рисунок 6 – Нарізання картоплі на слайси та відмивання крохмалю

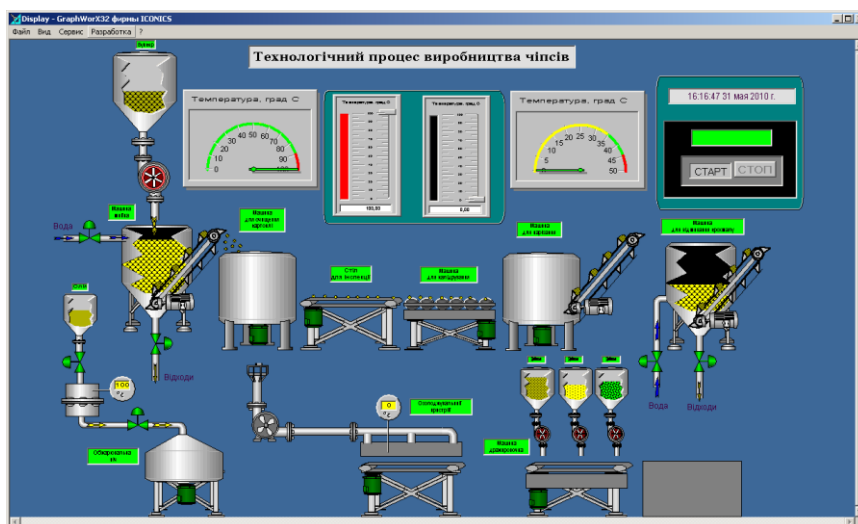


Рисунок 7 – Обжарювання слайсів

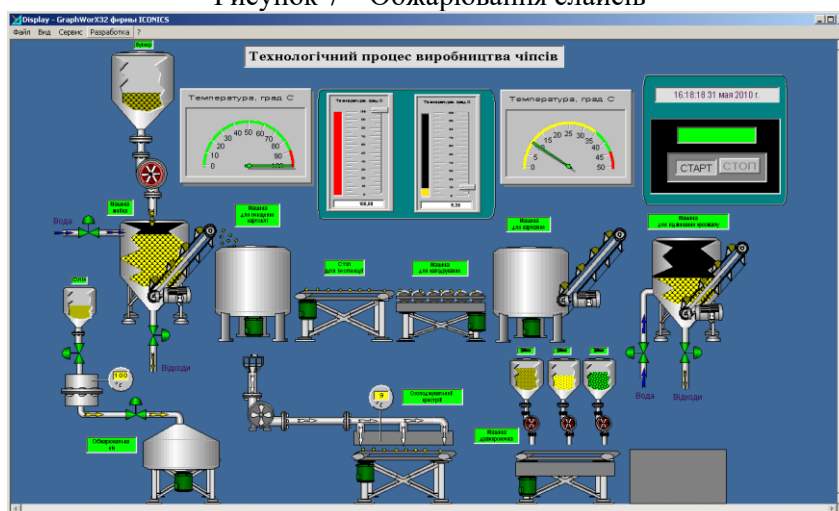


Рисунок 8 – Охолодження чіпсів

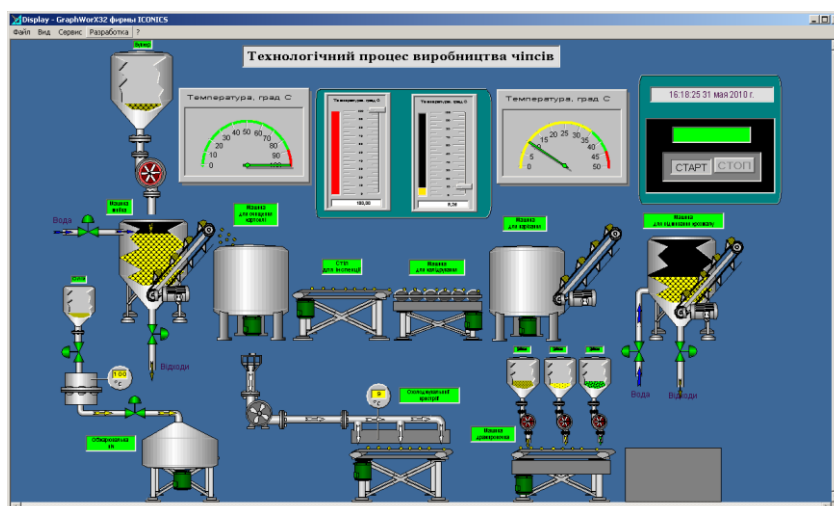


Рисунок 9 – Дражирування чіпсів

Для відкриття доступу SCADA-системи, яка реалізує інтерфейс оператора ЕОМ, до даних (ТЕГів) технологічного процесу виготовлення чіпсів використовуємо OPC сервер КОНТУР II (рис. 10), що призначений для забезпечення панелям керування оператора обмін даними з устаткуванням в системах автоматизованого контролю і управління технологічним процесом, та є безкоштовним.

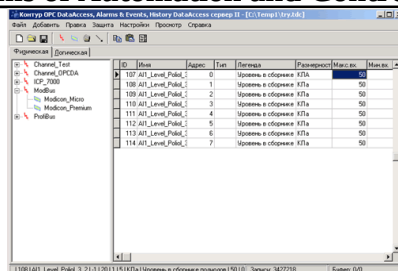


Рисунок 10 – OPC сервер КОНТУР II

Даний OPC сервер виконує наступні функції:

- обмін даними між персональним комп'ютером і пристроями технологічного процесу по одному або декількох каналам вводу-виводу, з підтримкою різних протоколів;
- ведення бази даних реального часу технологічних змінних;
- архівація історії зміни параметрів технологічного процесу;
- первинну обробку даних (масштабування, мертва зона);
- надання набору OPC DataAccess інтерфейсів для доступу до значень технологічних змінних і значень їх властивостей;
- надання набору OPC Alarms & Events інтерфейсів для отримання подій і повідомлень про критичні і аварійні ситуації;
- надання набору OPC History Data Access інтерфейсів для доступу до даним архіву історії зміни параметрів технологічного процесу.

Ядром додатку є база даних реального часу, що взаємодіє з устаткуванням через драйвери вводу\виводу різних протоколів обміну, та з клієнтськими додатками по інтерфейсах OPC DataAccess і Alarms&Events. Вона також зберігає історію зміни параметрів технологічного процесу в архіві історії, який надає інтерфейси для доступу, – OPC History DataAccess.

Висновки: Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва чіпсів, дозволить підвищити точність вимірювання та регулювання технологічних параметрів, а також збільшить надійність функціонування технологічного обладнання в цілому завдяки аналізу даних про значні відхилення і коливання технологічних параметрів відносно допустимих меж. Кінцевим результатом модернізації має бути забезпечення високої стабільності якісних характеристик чіпсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Виробництво картопляних чіпсів URL: <https://apostrophe.ua/ua/projects/chipsylux> (дата звернення 19.11.2023).
2. Обладнання для виробництва чіпсів — UTF GROUP URL: <https://utf-group.com.ua/multigrain-chips-machines/> (дата звернення 19.11.2023).
3. Вимірювач витрати ARAG WOLF 10-200 (4626415) URL: <https://streamagro.com.ua/ua/p1193777021-lopastnoj-rashodomer-wolf.html> (дата звернення 09.10.2023).
4. Радарний датчик рівня IFM LR7000 URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/level-sensors/ifm-lr7000> (дата звернення 09.10.2023).
5. Датчик температури WIKA TR36 – 14497525 URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/wika-tr36-14497525-30-150-c> (дата звернення 09.10.2023).
6. Контакт ETI R-40-40 (2463411) 24B AC, 4HO URL: <https://axiomplus.com.ua/kontaktory/product-94892/> (дата звернення 19.11.2023).
7. Електроклапан Rain Bird 100-DV-MM, соленоїд 24B 1" 3P URL: <https://nasosplus.com.ua/ua/elektroklapan-rain-bird-100-dv-mm-solenoid-24v-1-nr/> (дата звернення 09.10.2022).
8. Шасі контролера ADAM-5000 для встановлення 4 або 8 модулів вводу/виводу з інтерфейсом RS485 або Ethernet URL: https://www.proxis.ua/uk/product/automation-controller-Advantech-ADAM-5000/?gclid=CjwKCAiAgeeqBhBAEiwAoDDhnzptzQ6y-5UlltQHF0O84mNbEpL_qeYxg7EBSB4cZTF5RSLnKyuVDRoCIHIQAvD_BwE (дата звернення 19.11.2023).
9. Модулі вводу/виводу аналогових и цифрових сигналів Advantech ADAM-5000 URL:

УДК 681.5:631.544.4

В. О. Сатик, О. О. Смолянкін, Б. В. Троянчук

Луцький національний технічний університет

E-mail: student_b.troianchuk@lntu.edu.ua

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У МІНІТЕПЛИЦІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ

В даній статті розглянуто метод вирощування мікрозелені в мінітеплиці з фіксованими змінами параметрів та їх регулюванням. Описано технологічний процес вирощування мікрозелені: середовище проростання, освітлення, полив, специфіку вирощування цієї продукції.

Ключові слова: мікроклімат, автоматизація, мінітеплиця, мікрозелень, Node Red

V. O. Satsyk, O. O. Smoliankin, B. V. Troianchuk Automated microclimate control system in a minigreenhouse for growing microgreens. This article discusses the method of growing microgreens in a minigreenhouse with fixed parameter changes and their regulation. The technological process of growing microgreens is described: germination environment, lighting, watering, the specifics of growing this product.

Keywords: microclimate, automation, minigreenhouse, microgreens, Node Red

Постановка проблеми. Повільний ріст та малі обсяги готового продукту є збитковими для успішної реалізації мікрозелені. Перепони при догляді спонукають до інноваційніших методів вирощування. Мінітеплиця з автоматизованою системою управління мікрокліматом перспективно збільшує та покращує кінцевий продукт.

Мета статті: Вирішити питання доцільності АСУ мікрокліматом у мінітеплиці знайти релевантні методи, проаналізувати процес вирощування.

Постановка завдання: Знайти нові ресурси або технології для полегшення вирощування мікрозелені.

Об'єкт дослідження: Контрольована датчиками мінітеплиця з мікрокліматом.

Предмет дослідження: Процес контролю та керування мікроклімату для вирощування мікрозелені за сприятливих умов.

Виклад основного матеріалу. Тема автоматизації системи управління мікроклімату в теплицях в реальному часі є актуальною. Складений річний темп приросту зростатиме більш ніж на 10% завдяки оптимальним умовам вирощування комерційних теплиць [1]. Машино-машинна технологія дозволяє найдоцільніше забезпечити передачу даних між різними пристроями і є частиною IoT (Internet of Things). Здійснення передачі та обміну даними між фізичним світом і ПК системами в автоматичному режимі спрощує моніторинг за станом мікроклімату з давачів у будь-якій точці світу. У статті розглядатиметься управління мікроклімату з використанням наступної технології і мікроконтролера: Node-Red, Raspberry Pi Zero W.

1. «Мікрозелень – макрокористь»

Залежно від виду рослин, мікрозелень зазвичай складається з стебла рослини, сім'ядолі (початкові листки, присутні в насінні) і перші «справжні листки» цієї рослини. Мікрозелень розміром від 5 до 7,5 см користується попитом за різними характеристиками, включаючи, але не обмежуючись, поживність, смак, колір, форму та текстуру.

Мікрозелень має швидкий цикл врожаю, але є відмінності в темпах росту між різними видами і сортами. Овочі, вирощені як мікрозелень, готові до збору приблизно через 7-14 днів, але трави, вирощені як мікрозелень, як правило, ростуть порівняно повільно, дозріваючи за 16-25 днів.

З одного лотка (25×50 см) можна зібрати 140 г зелені щодня. В середньому за рік можна зібрати в середньому 20 врожаїв. В цілому ціна на готовий продукт починається від 60 до 100+ грн. за 100 грам.

1. Середовище проростання.

- 18 до 24°C і відносна вологість від 40 до 60%. Підвищення даних показників може підвищити ризик появи шкідників і хвороб.

- Обов'язковим є хороша циркуляція повітря (змішування, обмін та обіг) для рівномірного зростання.

- Необхідно використовувати вентилятори горизонтального потоку повітря або природні вентиляційні отвори для змішування та обміну повітря. У вертикальній стелажній системі, необхідно звернути увагу на потік повітря між кожним шаром, адже, в іншому випадку повітря, що потрапляє між шарами, може швидко призвести до стагнації, збільшуючи ризик захворювання. На кожному шарі має бути вентилятор (середня потужність - 40-50 Вт).

2. Освітлення.

Деякі системи освітлення, такі як люмінесцентні лампи, виділяють тепло під час своєї роботи. Що спричиняє відхилення в температурному режимі.

Станом на сьогодні стали поширені світлодіодні лампи (LED). Переваги (зменшення викидів тепла, пристосованість до конкретних культур з наявним спектром світла, можливість вибору якості та інтенсивності світла, які мають сприятливий вплив на ріст рослин і фотоморфогенез). Потужність LED (80-120 Люмен/Ват) систем освітлення набагато менша флуоресцентних (40-60 Люмен/Ват) і галогенних ламп (10-15 Люмен/Ват). Встановлення ламп - 25 сантиметрів від лотку. Інтерес освітлення. Для пророщування салату використовуються світлодіодні фітолампи зі спектром червоного 85% і синього 15%. Лампи мають бути розташовані так, щоб світло по усій зоні вирощування поширювалося рівномірно і інтенсивність світла яких має бути не менше 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{с}$ так званого PAR-спектру (фотосинтетичної активної радіації). На кв.м. рекомендується 2,5 лампи, що становить витрата Електроенергія на кв.м. 40-62,5Вт. Електроенергія однієї фітолампи становить 16-25Вт. [2]

Світлодіоди (LED) відрізняються своєю високою ефективністю фотоелектричного перетворення, вузькосмугову спектральну якість світла, низьку тепловіддачу та регульовану інтенсивність світла.

Світлодіодна фітолента SMD 5050 (5 червоних + 1 синій) , 60 світлодіодів на метр. Не можна освітлювати рослини лише синім світлом, для рослини важливі й інші діапазони в спектрі і освітлення має віддавати саме те світло, яке потрібне на даний момент рослині. Фітосвітло 660nm і 460nm.

3. Полив (зрошування).

Для початкової стадії варто використовувати розпилювальні насадки, щоб не змістити насіння. Обов'язковою умовою є дренаж, щоб уникнути надлишкового рівня води.

Нижній полив передбачає полив мікрозелені знизу вгору замість верхнього поливу та розпилення. Переваги: захищає пагони та стебла, запобігає: злипанню, накопичення вологи розвитку плісняви, появі шкідників (тля, білокрила, трипса) та інших хвороб, рівномірний полив, менша забрудненість, зменшення «активної» роботи, якісна коренева система. Алгоритм - використовувати воду кімнатної температури; вода, яка містить такі хімічні елементи як F та Cl слід замінити на дистильовану; перевірити лоток, щоб уникнути переливання; злити залишки води.

Формула Визначення Вологості Ґрунту. Найбільш широко використовуються прямі методи – гравіметричні та волюметричні.

Формула вологості ґрунту за гравіметричним методом (%) = $[\text{маса вологого ґрунту} - \text{маса висушеного ґрунту (г)}] / \text{маса висушеного ґрунту (г)} \times 100$;

Зміст вологи в ґрунті за волюметричним методом (%) = $[\text{обсяг води (см}^3\text{)} / \text{обсяг ґрунту (см}^3\text{)}] \times 100$.

Також варто зазначити про існування гідропонних лотків. Серед них вирізняється: вирощування у воді або плаваючому корені та вирощування в інертному субстраті.

Кокосове волокно - ідеальне середовище для вирощування, оскільки воно винятково добре утримує воду, водночас сприяючи хорошему дренажу та аерації. Матеріал також запобігає вимиванню поживних речовин. РН кокосової пальми - також є величезною перевагою – від 5,2 до 6,8. Він багатий Калієм, Залізом, Марганцем, Міддю і Цинком. А також має високу швидкість обміну катіонів.

4. Збір врожаю.

Зрізати ближче до основи стебла, біля основи гіпокотилі. Прилади для зрізання: ножиці, електричний ніж, ручний механізм збирання, автоматизована система збирального транспортера.

Охолоджувати необхідно і рекомендується якомога швидше для збереження свіжості після збору врожаю та його якості.

Одним з найдорожчих видів мікрозелені є амарант. Через проблематику пророщування та вирощування вартісного продукту, мінітеплиця стає чи не єдиним виходом для якісного догляду.

2. Датчики, модулі, мікроконтролер

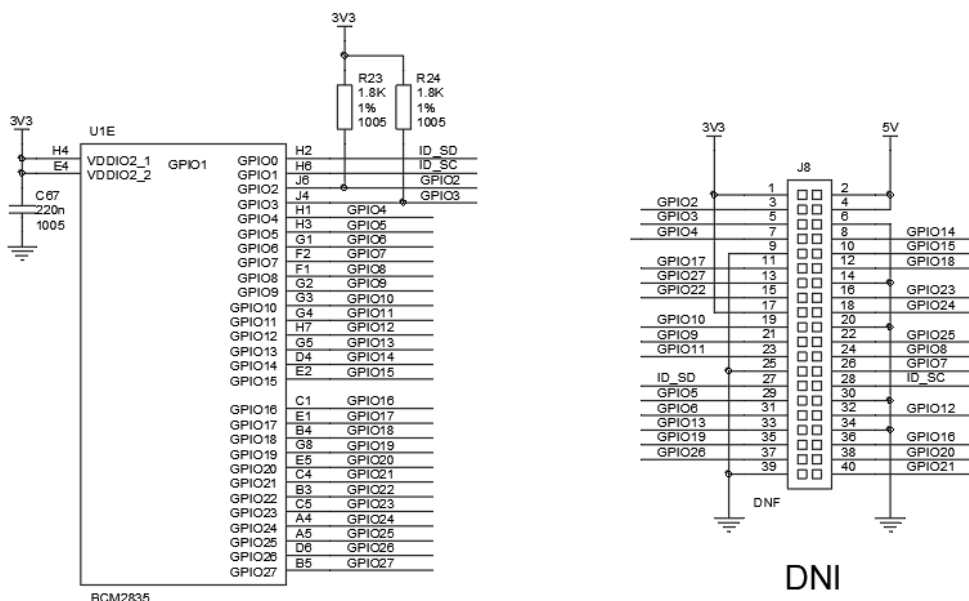


Рис.1. Raspberry Pi Zero W

- Чіп: Broadcom BCM2835 з CPU і GPU
- Процесор CPU: ARM1176JZ-F з тактовою частотою 1 ГГц
- Графічний співпроцесор GPU: VideoCore IV з тактовою частотою 400 МГц
- RAM-пам'ять: 512 МБ
- Порти Mini HDMI і Micro USB с OTG
- Живлення від Micro USB
- Стандартний 40-піновий роз'єм GPIO для плат розширення
- Роз'єм копітінного відео
- Роз'єм камери CSI (Camera Serial Interface)
- Карта пам'яті: MicroSD
- Процесор: BCM 2835 SOC
- Тактова частота: 1 ГГц
- Оперативна пам'ять: 512 МБ
- Пам'ять: micro-SD
- Дисплей та аудіо: міні-HDMI
- USB-порт: 1 x Micro-B USB для даних (також з живленням)
- Вхідне живлення: 1x micro-B USB для живлення (без даних)
- Інтерфейс камери: роз'єм камери CSI (потрібен кабель-перехідник, 0,5 мм крок до кроку CSI)
- GPIO: незаповнений 40-контактний роз'єм GPIO
- Сумісність GPIO: Сумісний з наявними додатками HAT
- Розміри: 65 x 30 x 5 мм.

Давачі, які використані в мінітеплиці: Модуль датчика якості повітря MQ-135, датчик температури DS18B20, датчик температури та вологості повітря DHT22, гігрометр.

3. Node-RED

В міні-теплиці контролюються два основні параметри: вологість і температура ґрунту та повітря.

Вузол для node-dht-sensor

Вузол Node-Red, який керує підключенням датчика DHT-11.

npm install node-red-contrib-dht-sensor

Після чого встановлюється бібліотека BCM2835.

Наступний крок: встановлення залежності node-dht-sensor

```
sudo npm install--unsafe-perm-g node-dht-sensor
```

Останній етап встановлення вузла.

```
sudo npm install --unsafe-perm -g node-red-contrib-dht-sensor
```

Вузол Node-RED для отримання даних про температуру в градусах від датчика DS18B20.

```
npm install node-red-contrib-sensor-ds18b20
```

```
sudo raspi-config
```

```
npm install node-red-contrib-sensor-ds18b20[3]
```

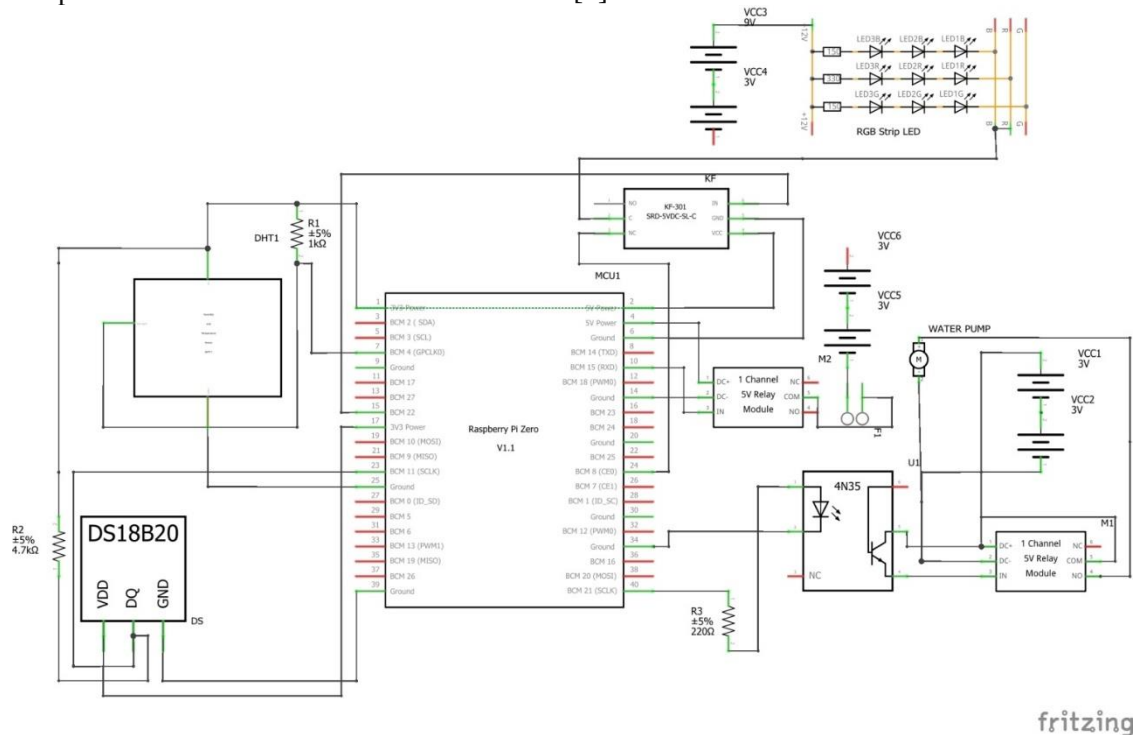


Рис.2. Електрична схема підключення давачів до мікрокомп'ютера

На рисунку 2 зображено чотири основні зовнішні пристрої, які використовуються для внесення змін у мікроклімат, - це вентилятор, водяний насос, інфрачервона плівка (з механічним регулятором) і світлодіодна стрічка. Ці пристрої використовують велику кількість струму (порівняно з тим, який мікроконтролер здатний отримати), тому вони підключені до реле, з якими мікроконтролер може взаємодіяти. Для моніторингу навколишнього середовища використовується кілька датчиків, включаючи датчик DS18B20 і DHT11, який вимірює температуру та вологість.

Інфрачервона плівка. Впровадження інфрачервоної радіаційної системи обігріву в мінітеплиці для виробництва розсади є успішним способом. Забезпечивши рівномірний розподіл температури. За оцінками, економія енергії становить від 35% до 45% порівняно зі звичайним опаленням. Економічний аналіз показує, що інфрачервоне опалення, незважаючи на високу вартість, має сприятливу віддачу, яка, як очікується, стане ще кращою завдяки широкому використанню цієї техніки.

4. Алгоритм АСУ мікрокліматом у мінітеплиці

Реалізація здійснюється шляхом проектування системи на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi Zero W, який контролює та записує значення різних параметрів, таких як вологість і температура ґрунту та повітря, вміст CO₂ у повітрі. Керування вмиканням та вимиканням: світлодіодної стрічки, вентилятора, водяного насоса здійснюється з використанням реле.

Висновки та майбутні перспективи. Метод вирощування мікрозелені в мінітеплиці з фіксованими змінами параметрів та їх регулюванням є виправдано рентабельним. Майбутнім дослідженням надаватиметься перевага розкриттю експериментальних показників з нахилом на вибіркові дані.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Smart Agriculture Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Precision Farming, Livestock Monitoring, Smart Greenhouse, Others), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030.

2. Гідропоніка для всіх. <https://hydroponics.net.ua/osvitlennya-dlya-gidroponiky/> (дата звернення 24.11.2023.)

3. Node-Red. <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-sensor-ds18b20> (дата звернення 25.11.2023.)

УДК 004.4: 681.5: 519.85

А.С. Середюк, Л.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ ТИРСОБРИКЕТІВ

Робота присвячена модернізації системи управління технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів. Виготовлення тирсобрикетів дає можливість для скорочення викидів парникових газів, меншому впливу на навколишнє середовище та потенціалу сприяти сталому та диверсифікованому енергетичному балансу.

Ключові слова: тирсобрикети, керування, надійність, технологічні параметри, мікроконтролер.

The article is devoted to the modernization of the technological process control system for the production of sawdust bricks. The production of sawdust bricks provides an opportunity to reduce greenhouse gas emissions, have a lower environmental impact and the potential to contribute to a sustainable and diversified energy balance.

Keywords: sawdust bins, control, reliability, technological parameters, microcontroller.

Постановка проблеми. На ринку альтернативних джерел енергії все більшу популярність завойовують паливні брикети. Паливні брикети належать до альтернативних джерел енергії з кількох причин.

- Вони є відновлювані та стійкі.
- Скорочують викиди парникових газів.
- Мають менший вплив на навколишнє середовище – вони використовують відходи або енергетичні культури, що може допомогти зменшити обсяги захоронення відходів.
- Використовують місцеве виробництво енергії – паливні брикети можна виробляти з використанням місцевих ресурсів біомаси, що зменшує потребу в транспортуванні палива, сприяє енергетичній безпеці, зменшує залежність від імпортованого викопного палива і може стимулювати місцеву економіку через створення робочих місць.
- Дозволяють диверсифікувати джерела енергії, зменшуючи залежність від одного домінуючого виду палива.
- Технологічний прогрес. Постійний розвиток технологій виробництва брикетів, таких як вдосконалення брикетувальних машин, методів сушіння, сприяв розробці якісніших та ефективніших паливних брикетів. Ці досягнення підвищують життєздатність та ефективність паливних брикетів як альтернативного джерела енергії.

Виготовлення тирсобрикетів дає можливість для скорочення викидів парникових газів, меншому впливу на навколишнє середовище та потенціалу сприяти сталому та диверсифікованому енергетичному балансу.

Необхідно зазначити, що виробництво тирсобрикетів налагоджено також на Волині, зокрема, на підприємстві «Любешівагроліс» [1]. Оскільки ліси Волині у більшості хвойні, то і брикети на цьому підприємстві виготовляються з хвойних порід дерева.

Метою роботи є модернізація системи управління технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів.

Аналіз процесу. Багато галузей промисловості потребують опалення для різних процесів, таких як сушіння, випікання або виробництво пари. Паливні брикети, в тому числі брикети з тирси, можуть використовуватися як джерело палива в промислових системах опалення та котлах. Брикети

є зручним та ефективним варіантом палива, що забезпечує стабільну теплову потужність та зменшує викиди парникових газів порівняно з традиційними викопними видами палива.

Основною сировиною для виготовлення тирсобрикетів є сама тирса. Тирса – це побічний продукт, що утворюється під час різних операцій з переробки деревини, таких як лісопиляння, деревообробка або виробництво меблів. Вона складається з дрібних деревних частинок і стружки, які утворюються при розпилюванні або формуванні деревини.

Брикет з тирси можуть мати різну форму і виготовлятися за допомогою різних методів пресування [2].

Технологічний процес виготовлення тирсобрикетів включає в себе кілька етапів. Загальна схема процесу наступна [3].

Підготовка сировини. Першим кроком є підготовка сировини, якою в даному випадку є тирса. Підготовка включає за необхідності подрібнення вихідної сировини до рівномірного стану.

Сушіння до заданої вологості. Тирса повинна бути сухою з вмістом води, як правило, нижче 10%. Оптимальна вологість тирси для формування брикетів становить 8%. Якщо тирса недостатньо висушена, потрібно виконати сушіння з використанням таких методів, як сушіння на повітрі або ротацийне сушіння.

Надання форми. Підготовлена тирса подається у прес. При цьому вона піддається підвищеному тиску і температурі. Гвинт, що обертається, стискає тирсу, в результаті чого вона розм'якшується і сплавляється. В процесі стиснення з тирси виділяється природна в'язуча речовина – лігнін, яка допомагає зв'язати частинки і сформувати тверді брикети. У процесі стиснення також відбувається нагрівання матеріалу, що дозволяє поверхні брикетів сплавитись і затвердіти, що робить брикети довговічними для зберігання. В кінці преса тирса проходить через матрицю з певними отворами або формами. Плашка визначає остаточну форму і розмір брикетів. Високий тиск змушує ущільнену тирсу проходити через матрицю, утворюючи тверді брикети потрібної форми, наприклад, циліндричні або шестигранні. Після того, як брикети сформовані, вони розрізаються до потрібної довжини за допомогою ріжучого пристрою, інтегрованого в гвинтовий прес.

Основною характеристикою тирсобрикетів є їхня щільність. Чим вища щільність брикетів, тим рівномірніше відбувається горіння, триваліше відбувається виділення тепла, тим міцніші і краще збережені брикети.

Щільність тирсобрикетів напряму залежить від вологості тирси, яка використовувалась на етапі пресування. Якщо вологість перевищує 10–12%, то брикети при пресуванні вийдуть нещільними, з тріщинами, з високою ймовірністю швидкого руйнування. Їх тепловіддача буде також знижена. Тому етап сушіння тирси є одним з найвідповідальніших при виготовленні тирсобрикетів.

Основна частина. Для розробки системи автоматизованого керування було визначено найважливіші параметри, які необхідно контролювати при виготовленні тирсобрикетів. До цих параметрів відносяться температура в I, II, III зонах сушарки, тиск палива в мережі, вологість тирси на виході з сушарки, температура нагрівача елемента преса.

Якість паливних брикетів з тирси може визначатися кількома факторами. Ключовими факторами, які впливають на якість паливних брикетів з тирси, є:

- якість сировини – якість тирси, що використовується як сировина, відіграє значну роль у визначенні якості брикетів. Високоякісна тирса повинна мати постійний розмір частинок, низький вміст води і мінімальну кількість домішок, таких як бруд, каміння або інші забруднювачі. Добре висушена тирса з низьким вмістом води забезпечує ефективне горіння і знижує ризик деградації брикету;

- тиск пресування – тиск, що застосовується в процесі брикетування, впливає на щільність і міцність брикетів. Достатній тиск пресування забезпечує щільне ущільнення частинок, в результаті чого утворюються щільні та міцні брикети. Недостатній тиск може призвести до утворення нещільних або слабких брикетів, які легко розпадаються;

- розмір та однорідність частинок – відповідність розміру частинок і однорідність сировини важливі для отримання брикетів з рівномірною щільністю і властивостями горіння. Правильний розмір частинок забезпечує рівномірний розподіл матеріалів, оптимальне зв'язування та ефективне згоряння. В ідеалі частинки тирси повинні бути однакового розміру, щоб сприяти рівномірному формуванню брикету;

- вологість – вологість тирси значно впливає на якість брикету. Надмірна вологість може перешкоджати процесу зв'язування, знижувати енергетичну цінність брикету і збільшувати ризик

появи плісняви або грибків. З іншого боку, занадто низький вміст вологи може ускладнити досягнення належного зв'язування. Тому підтримання належного рівня вологості має вирішальне значення для виробництва високоякісних паливних брикетів з тирси;

- теплотворна здатність – теплотворна здатність, тобто кількість теплової енергії, що виділяється при згорянні, є важливим параметром якості брикетів. Вища температура згоряння вказує на більший вміст енергії та кращу паливну ефективність. На теплотворну здатність брикетів може впливати тип використовуваної тирси, її щільність і наявність будь-яких домішок;

- зольність брикетів – кількість залишкової золи, що залишається після згоряння. Нижча зольність є бажаною, оскільки вона свідчить про чистіше горіння і меншу кількість залишків. Високий вміст золи може негативно вплинути на ефективність згоряння та підвищити вимоги до технічного обслуговування печей або котлів.

Враховуючи ці фактори та забезпечуючи заходи контролю якості протягом усього виробничого процесу, можна виробляти високоякісні паливні брикети з тирси, які забезпечують ефективне та чисте горіння.

Виходячи з того, що деякі фактори, які впливають на якість тирсобрикетів, залежать від виду використовуваної сировини, було розглянуто параметри, які є ключовими для керування технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів і які відіграють важливу роль в управлінні процесом і досягненні бажаного результату та розроблено принципову схему взаємозв'язків параметрів процесу виготовлення тирсобрикетів.

При розробці функціональної схеми управління процесом виробництва брикетів з тирси слід враховувати кілька факторів для забезпечення ефективної та надійної роботи.

Параметри процесу. Потрібно визначити критичні технологічні параметри, які впливають на процес виробництва брикетів – тиск пального у мережі, температуру сушіння, тиск пресування вологості тирси; потрібно визначити прийнятні діапазони та цільові значення цих параметрів для досягнення бажаної якості брикетів та ефективності виробництва.

Контроль якості. Необхідно впровадити заходи контролю якості для моніторингу та управління характеристиками брикетів – це може включати моніторинг таких параметрів, як температура пресування та циклічність відрізання брикетів на виході з пресу; потрібно встановити відповідні датчики та прилади для вимірювання та контролю цих параметрів.

Безпека та аварійне вимкнення. Потрібно впровадити заходи безпеки та процедури аварійного вимкнення для захисту персоналу, обладнання та навколишнього середовища – встановити захисні блокування, кнопки аварійної зупинки та сигналізації для реагування на критичні ситуації, такі як несправності обладнання, високі температури або надмірний тиск.

Враховуючи ці фактори при розробці схеми управління, можна забезпечити ефективну роботу, стабільну якість брикетів та ефективне управління процесом виробництва тирсобрикетів.

Обираючи технічні засоби автоматизації для управління процесом виробництва тирсобрикетів, було враховано ряд особливостей, щоб забезпечити ефективні та раціональні процеси.

Перш за все, визначено відповідний метод сушіння тирси виходячи з таких факторів, як виробнича потужність, енергоефективність та вимоги до якості сушіння. Різні методи сушіння можуть вимагати специфічних конфігурацій обладнання для автоматизації та стратегій управління.

Особливо враховано необхідність точного контролю вологості висушеної тирси. Обрано засоби для автоматизації, які забезпечують точне вимірювання та контроль вологості для досягнення бажаного рівня вологості.

Обрано технічні засоби автоматизації, які забезпечують моніторинг і контроль критично важливих параметрів, таких як температура сушіння, швидкість повітряного потоку і час витримки в режимі реального часу. Інтегровані датчики, контролери та системи збору даних забезпечать оптимальні умови сушіння та уможливають точне регулювання параметрів для ефективного та стабільного сушіння.

Розглянуто такі засоби автоматизації, які включають енергоефективні функції для мінімізації споживання енергії під час процесу виготовлення тирсобрикетів. Вони включають такі функції, як приводи зі змінною швидкістю для вентиляторів, інтелектуальні алгоритми управління для оптимізації використання енергії, можливості моніторингу та управління енергоспоживанням.

Особливу увагу приділено функціям безпеки для захисту персоналу та обладнання під час процесу виготовлення тирсобрикетів. Це механізми моніторингу температури і тиску, системи аварійного відключення, а також дотримання стандартів і правил безпеки.

Засоби автоматизації повинні легко інтегруватися з компонентами лінії з виробництва тирсобрикетів, такими як система подачі тирси, сушильна машина, брикетувальна машина, системи охолодження. Сумісність і безперебійний зв'язок між різними компонентами автоматизації забезпечують ефективний матеріальний потік і синхронізовану роботу.

При виборі технічних засобів автоматизації враховано вимоги до їх надійності під час експлуатації, використано обладнання, яке має функції діагностики, можливості віддаленого моніторингу та легкий доступ для виконання завдань з технічного обслуговування. Швидке та ефективне усунення несправностей може мінімізувати час простою та забезпечити неперервне виробництво.

Враховуючи ці особливості при виборі технічних засобів автоматизації для управління процесом виробництва тирсобрикетів, обрано обладнання, яке відповідає розробленій функціональній схемі, підвищує ефективність виробництва і сприяє загальному успіху процесу виробництва брикетів.

Для того, щоб правильно скласти програму для чіткої роботи контролера, розроблено алгоритм функціонування, де описано основні алгоритми та оператори дій, побудовано блок-схему алгоритму, розроблено програму роботи контролера у середовищі ADAMView.

Загалом, розробка алгоритму для системи управління забезпечує ефективний контроль, прийняття рішень, результативність, стандартизацію, адаптивність та обслуговування. Він формує основну логіку, яка керує роботою системи та сприяє досягненню бажаних результатів і цілей.

Виконано розрахунок надійності автоматизованої системи управління технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів. Визначено, що при неперервній роботі обладнання протягом 5 років при двозмінній роботі ймовірність відмови системи може зрости до 26%. Для того, щоб зменшити ймовірність виходу з ладу обладнання на лінії з виробництва тирсобрикетів, підбрано ряд заходів для забезпечення надійності та довговічності обладнання. Впровадивши ці заходи, можна підвищити надійність і продуктивність обладнання на лінії, зменшити ймовірність відмов і забезпечити неперервну та ефективну роботу.

Оскільки виробництво тирсобрикетів містить ряд загроз з точки зору пожежної безпеки та безпеки праці робітників, проаналізовано загрози пожежної безпеки на кожній ділянці лінії з виробництва тирсобрикетів та розроблено відповідні заходи з охорони здоров'я та безпеки праці, які слід враховувати. Проаналізовано види вентиляції, які повинні бути застосовані при виробництві тирсобрикетів. Також запропоновано загальні заходи з охорони здоров'я та безпеки праці, які потрібно запровадити на лінії з виробництва тирсобрикетів.

Висновок. Тирсобрикетів відносять до альтернативних джерел енергії. Основною їх перевагою є те, що вони є відновлювані, екологічно чисті, мають менший вплив на зміну клімату порівняно з традиційними викопними видами палива. Ці джерела енергії поповнюються природним шляхом і мають потенціал для забезпечення сталого та чистого енергопостачання. У процесі модернізації системи управління технологічним процесом виготовлення тирсобрикетів було вирішено ряд задач, які дозволять покращити контроль процесу виробництва тирсобрикетів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тирсобрикетів від ДП «Любешівгазліс». URL: <https://bio.ukr.bio/ua/news/12062/> (дата звернення: 05.07.2023).
2. Паливний брикет. Виробництво і продаж. URL: <https://www.kronaimpuls.com.ua/palivnij-briket-virobnitstvo-i-prodazh/> (дата звернення: 05.07.2023).
3. Технологія виробництва різних видів біопалива. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/> (дата звернення: 05.07.2023).

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ КАР'ЄРНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Об'єктом модернізації є електропривод механізму напору екскаватора. У роботі розглянуті основні вимоги до електроприводів кар'єрних екскаваторів та питання щодо розробки систем керування, які б забезпечили такі показники якості як плавність пуску, точність регулювання та надійність привода. Наведена силова схема електропривода напору екскаватора ЕКГ-10 на базі системи генератор-двигун та відповідно до зазначених вимог, надані рекомендації щодо модернізації на базі перетворювача DCS800 фірми АВВ. Виконаний аналітичний огляд стану питання щодо модернізації головних приводів кар'єрних екскаваторів з можливими варіантами їх механічних частин.

Ключові слова: двигун постійного струму, система генератор – двигун, тиристорний перетворювач, регулятор швидкості, регулятор струму, система підпорядкованого регулювання, швидкодія

V. Stopkin, Y. Potapenko, I. Shurai. Modernization of control systems for electric drives of mining excavators. The object of modernization is the electric drive of the excavator pressure mechanism. The paper examines the main requirements for electric drives of quarry excavators and issues related to the development of control systems that would ensure such quality indicators as smooth start-up, adjustment accuracy and drive reliability. The power diagram of the electric drive of the EKG-10 excavator head on the basis of the generator-engine system is presented, and in accordance with the specified requirements, recommendations are given for modernization based on the ABB DCS800 converter. An analytical review of the issue of modernization of the main drives of quarry excavators with possible variants of their mechanical parts was carried out.

Keywords: DC motor, generator-motor system, thyristor converter, speed regulator, current regulator, slave control system, performance

Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій. В умовах економічних труднощів гірничі підприємства мають обмежені можливості оновлення сучасного парку машин та установок. При цьому єдиним виходом підтримки працездатності та покращення технічних показників технологічного обладнання є модернізація головних приводів екскаваторів.

В теперішній час електроприводи основних механізмів кар'єрних екскаваторів виконані за системою генератор – двигун (Г-Д) маючи ще й магнітні підсилювачі у складі системи керування. Основними недоліками такої системи є таке: магнітний підсилювач володіє значною електромагнітною інерцією, що обмежує швидкодію; для зниження постійної часу магнітного підсилювача у коло кожної його обмотки керування вводяться великі додаткові опори, що підвищує і без того значну потужність керування підсилювачем, габарити й суттєво знижує коефіцієнт корисної дії; високі динамічні навантаження електричного та механічного обладнання; система не задовольняє сучасним вимогам до екскаваторних приводів.

В теперішній час, одним з напрямків модернізації приводів кар'єрних екскаваторів є заміна силових магнітних підсилювачів тиристорними збудувачами і в подальшому застосування системи тиристорний перетворювач – двигун (ТП-Д). Ці системи володіють кращими масогабаритними показниками, більш високим коефіцієнтом підсилення та швидкодією, що дозволяє реалізувати високі регульовальні можливості електроприводів, забезпечуючи високу швидкодію при ефективному обмеженні динамічних навантажень механізмів екскаватора.

Постановка завдання дослідження. Метою роботи є визначення актуального напрямку модернізації електроприводів кар'єрних екскаваторів.

Викладення матеріалу. В теперішній час відбувається процес поступового витіснення силових магнітних підсилювачів тиристорними збудувачами, які володіють при необхідній потужності кращими масогабаритними показниками, більш високим коефіцієнтом підсилення та швидкодією, що відкриває нові можливості до процесів керування та ефективного обмеження динамічних навантажень на механізми екскаватора. Існуючі системи Г-Д володіють суттєвим

недоліком – трикратне перетворення енергії, що призводить до зниження коефіцієнту корисної дії. Крім того система Г-Д володіє великою вагою, габаритними розмірами та високою вартістю, що визначає необхідність досліджень та розробки нових перспективних систем екскаваторного електропривода з використанням статичних перетворювачів енергії. Вирішення цієї задачі може бути здійснено при переході до систем ТП-Д.

Для нової системи ТП-Д звісно висувається ряд вимог, властивих для екскаваторного привода. Електропривода основних механізмів екскаватора працюють в інтенсивному повторно-короткочасному режимі, з великою частотою вмикань, при змінному в широких межах навантаженні на валу електродвигуна і вельми тяжких умовах тряски, ударах, вібраціях та запиленості. До складу приводів механізмів екскаватора входять пружні механічні зв'язки, обумовлені обмеженою жорсткістю канатів, робочого обладнання та валів передач, а також мають значні зазори в передачах. Для забезпечення максимальної продуктивності машини при мінімальному навантаженні електричного та механічного обладнання необхідно, щоб система електропривода відповідала наступним вимогам.

1. Електропривод повинен забезпечувати надійне обмеження моменту та струму припустимим граничним значенням для усіх режимів роботи, тобто володіти механічною характеристикою екскаваторної форми. Найбільш тяжкі режими стопоріння мають місце на механізмі напору кар'єрного екскаватора.

2. Електропривод повинен забезпечувати економічне регулювання швидкості в діапазоні 6:1 та рекуперації енергії, яка вивільняється при гальмуванні механізму повороту або при опусканні ковша.

3. Динамічні властивості електропривода повинні забезпечувати ефективне обмеження динамічних навантажень механізмів, які містять пружні механічні зв'язки, зазори та кінематичні похибки передач. Електропривод повинен зменшувати знос екскаваторних механізмів за рахунок демпфірування пружних механічних коливань, плавного вибору зазорів та слабини канатів.

4. Електроприводи екскаваторів працюють в польових умовах без постійного кваліфікованого технічного обслуговування, тому до них висуваються підвищені вимоги до надійності роботи, до простоти налагодження та експлуатації, до скорочення простоїв при відмовах електроприводів. Простота налагодження електроприводів повинна забезпечувати час пуску екскаватора в експлуатацію після монтажу за 3-5 днів, а простої скорочуватися за рахунок реалізації часу відновлення працездатності екскаватора при відмовах електроніки на рівні 10-15 хв.

5. Тяжкі умови експлуатації визначають необхідність застосування на екскаваторах тиристорних перетворювачів в спеціалізованому екскаваторному виконанні, яке відповідає наступним вимогам:

- схемотехніка перетворювачів повинна бути уніфікованою, максимально простою, легкою доступною для засвоєння електрикам середньої кваліфікації;

- так як напруження на відмову перетворювачів визначається кількістю електронних елементів, до складу перетворювача повинно входити мінімум комплектуючих;

- для підвищення надійності, перешкодоздатності та зручності обслуговування перетворювач повинен мати просторово інтегровану моноблочну конструкцію, яка забезпечує мінімум протяжності монтажних з'єднань, мінімум роз'ємів та клемних контактів;

- перетворювачі повинні мати систему самодіагностики та систему індикації, яка вказує на несправний перетворювач;

- перетворювачі різних приводів на екскаваторі повинні бути потенційно не зв'язаними, а також система керування кожним перетворювачем повинна бути потенційно розв'язаною з силовою схемою;

- привод повинен працювати в діапазоні температур від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

6. Також до вимог відносяться енергозбереження, якість електроживлення та мінімальні витрати на обслуговування при експлуатації.

На діючих в теперішній час екскаваторах у якості приводів основних механізмів використовуються привода постійного струму за системою Г-Д. Система Г-Д була та залишається основною системою екскаваторного електропривода, так як в минулому найбільш в повній мірі відповідала основним вимогам.

Починаючи з 60-х років до 91 року, система Г-Д випускалася з збуджувачами на магнітних підсилювачах (МП). При зазначених недоліках системи з МП, силові реверсивні МП володіють високою надійністю, потрібною формою статичної характеристики, а також зручністю магнітного

складання вихідних сигналів керування, що і визначило їх успішне використання на екскаваторах на протязі декількох десятиріч.

Українська компанія [1] має власний підхід до модернізації електроприводів кар'єрних екскаваторів: заміна магнітних підсилювачів на електронну систему керування; застосування у системі збудження генераторів та двигунів головних приводів статичних перетворювачів з відповідною даному приводу системою регулювання; переведення запуску синхронного двигуна (СД) з прямого пуску на плавний безступеневий розгін до під синхронної швидкості; використання пристрою автоматичного регулювання струму збудження СД в залежності від активного струму навантаження; застосування для керування релейно-контакторною схемою додаткових приводів розподільчої мікропроцесорної системи збору даних та керування; заміну кулачкових контактних та сельсинних командоконтролерів на резистивні або індуктивні; заміну старого пульта керування машиніста сучасним ергономічним кріслом-пультом з виносною інформаційною панеллю оператора (система контролю продуктивності, обліку електроенергії та машинного часу екскаватора та відеоспостереження).

Процес модернізації екскаваторного привода як правило включає наступні етапи [1]:

- заміна магнітних підсилювачів на електронну систему керування;
- застосування в системі збудження генераторів та двигунів головних приводів статичних перетворювачів з відповідною системою керування;
- переведення запуску синхронного двигуна з прямого пуску на плавний безступеневий розгін до під синхронної швидкості;
- використання пристроїв автоматичного регулювання струму збудження синхронного двигуна в залежності від активного струму навантаження;
- застосування для керування релейно-контакторною схемою допоміжних приводів розподіленої мікропроцесорної системи збору даних та керування;
- заміну кулачкових контактних і сельсин них командо контролерів на резистивні або індуктивні;
- заміну старого пульта керування машиніста сучасним ергономічним пультом з виносною панеллю оператора системи контролю продуктивності, обліку електроенергії та машинного часу екскаватора та відеоспостереження;
- заміну кабельно-напівпровідникової продукції міжшафних, міжпанельних з'єднань та з'єднань з електричними машинами та трансформаторами.

Основні результати модернізації повинні зводитися до наступного [1]:

- зменшення інерційності та підвищення якості регулювання електроприводів;
- зниження динамічного навантаження в перехідних режимах, при реверсі та в режимі стопоріння;
- забезпечення високого коефіцієнту форсування напруги збудження генераторів;
- усунення від'ємного впливу прямих пусків синхронного двигуна на кар'єрні мережі та збільшення ресурсу усіх електричних машин головного перетворювального агрегату;
- автоматичне регулювання струму збудження синхронного двигуна в функції струму статора, що дозволяє стабілізувати коефіцієнт потужності та знизити витрати електроенергії на холостому ходу;
- забезпечення реалізації блокувань та захистів, що зменшує кількість електромагнітних реле та підвищує надійність та безпеку роботи системи керування.

Перспективним напрямком модернізації є встановлення перетворювача DCS800-S02 для електроприводів головних механізмів екскаватора [2]. Основними структурними елементами тут є: задавач швидкості; регулятор швидкості; регулятор струму якоря двигуна; датчик швидкості; регулятор струму збудження двигуна; перетворювачі кола якоря та обмотки збудження двигуна.

У роботі [3], авторами сформульовані основні вимоги до електроприводів змінного струму для механізмів кар'єрних екскаваторів. Показані типові залежності основних енергетичних характеристик від швидкості обертання ротора в діапазоні його регулювання. Показано застосування електричних машин змінного струму в мехатронних системах кар'єрних екскаваторів.

У роботі [4], авторами розглянуті результати проектування та застосування нових мехатронних систем з двигунами постійного струму та транзисторними перетворювачами потужності для кар'єрних екскаваторів. Зазначається, що застосування сучасних транзисторних перетворювачів з двигунами постійного струму, дозволяє знизити енергоспоживання на 20-30% у порівнянні з приводами за системою Г-Д та знизити питому енергоємність земляних робіт.

Дослідження екскаваторного привода з врахуванням пружних елементів, люфтів та змін кінематичних параметрів механізму, розглянуто на прикладі математичної моделі [5]. Тут показано, що введення зворотного зв'язку за навантаженням у пружному елементі передачі дозволяє знизити динамічні навантаження механізму та обмежити пружні коливання виконавчого механізму в порівнянні з базовою системою керування поряд з виявленням таких небажаних явищ – як збільшення часу відновлення швидкості виконавчого механізму в деяких режимах роботи, що призводить до зниження надійності механічної частини та продуктивності механізму.

У роботі [6] виконана розробка цифрової системи керування головними приводами кар'єрного екскаватора на базі алгоритмічного опису процесу розкопок з метою підвищення ефективності земляних робіт.

Звісно встановлення привода змінного струму на вже спроектовані системи постійного струму на екскаваторному приводі є затратним процесом.

Об'єктом дослідження в даній роботі є екскаватор ЕКГ-10 в умовах філії «Вільногірський гірничо-металургійний комбінат» АТ «Об'єднана гірничо-хімічна компанія».

Напруга 6000 В надходить через комбінований кільцевий струмоприймач ТК3І2-4У2, який призначений для передачі напруги від кільцевого струмоприймача кабельного барабану до високовольтного розподільчого пристрою, а також для передачі напруги, живлячого електрообладнання, встановленого на нижній рамі. Він складається з високовольтного та низьковольтного струмоприймачів. Він складається з високовольтного КРУЕ-6-В-630-20-1 та низьковольтного струмоприймачів. Високовольтний струмоприймач має чотири кільця, три з яких служать для підключення основних жил а одне для заземлюючої жили.

Низьковольтний кільцевий струмоприймач складається з 12 ізольованих кілець, призначених для передачі постійного і змінного струму з поворотної платформи до двигунів.

Високовольтний розподільчий пристрій призначений для отримання та розподілення електроенергії, захисту електрообладнання при перевантаженнях та коротких замкненнях, а також для оперативних включень електричного кола.

Високовольтний трансформатор ТМЕГ-160/6 призначений для живлення напругою 380 В змінного струму двигунів допоміжних механізмів, тиристорних перетворювачів, електропечей і освітлення екскаватора. Трансформатор має потужність 160 кВА, напругу 6000/400 В.

На рисунку 1 наведена силова схема електрична принципова керування електроприводом механізму напору екскаватора. До складу головного перетворювального агрегату, в тому числі для механізму напору входять: привід синхронного двигуна типу СДЕ2-15-3-6 потужністю 630 кВт на 6000 В; генератор постійного струму типу 4ГПЕМ-125 (потужність 125 кВт; швидкість обертання 1000 об/хв; номінальна напруга 330 В; номінальний струм 379 А, G2 – див. рис.1) для живлення двох електродвигунів ДЕ-812 (потужність 62,5 кВт; швидкість обертання 750 об/хв; номінальна напруга 165 В; номінальний струм якоря 360 А; тривалість вмикання 80%; струм незалежного збудження 17, А, М3, М4 – див. рис.1). Всі машини встановлені на одній фундаментальній плиті.

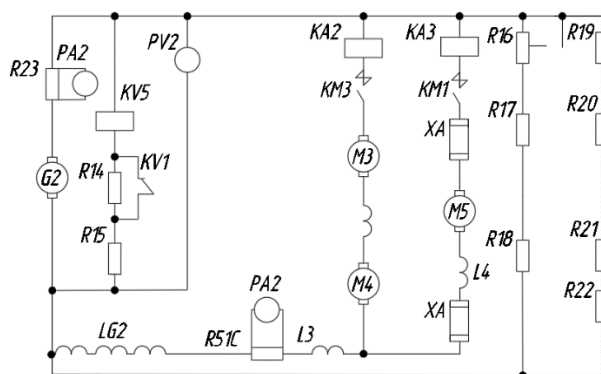


Рис.1. Схема силова електрична принципова керування електроприводом механізму напору екскаватора

Існуючою схемою керування передбачено дві машини постійного струму типу ДЕ-812 потужністю 62,5кВт, якірні кола яких з'єднані послідовно, а обмотки збудження отримують живлення від комплектних тиристорних електроприводів БУТВ. Живлення двигунів постійного струму здійснюється від генератора постійного струму типу 4ГПЕМ 125-1/1 потужністю 125 кВт.

Живлення обмотки збудження генератора як і двигунів постійного струму здійснюється від комплектного тиристорного електропривода. Комплектні тиристорні електроприводи типу БУТВ були випущеними у 1989 році, а модернізація по теперішній час не виконувалася.

Основним напрямом модернізації електропривода напорного кар'єрного екскаватора ЕКГ-10 є: застосування у колах якоря та системи збудження (опціонально) двигунів головних приводів сучасних тиристорних перетворювачів із порівняльним аналізом їх переваг та недоліків з врахуванням пружних елементів електропривода; переведення синхронного двигуна з прямого пуску на плавний безступеневий розгін. У роботі запропонований варіант модернізації електропривода напорного екскаватора ЕКГ-10 шляхом заміни системи генератор-двигун на систему тиристорний перетворювач двигун.

Від проведеної модернізації очікується: зменшення інерційності та підвищення якості регулювання вихідних координат електропривода; зниження динамічних навантажень у перехідних режимах та у режимі стопоріння.

Висновки. Таким чином, основними етапами модернізації визначені наступні: обґрунтування існуючої кінематичної схеми електропривода механізму напорного екскаватора ЕКГ-10; складання функціональної схеми модернізованого електропривода; розрахунок потужності та вибір комплектних електроприводів для кіл якоря та обмоток збудження машин постійного струму; складання математичної моделі електроприводу та дослідження динамічних показників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. НПО "Модекс-привод" (Україна). Модернізація екскаваторного привода [Електронний ресурс] / НПО "Модекс-привод" (Україна). – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.modex-drive.com/>.
2. ABB. Detailed information for: DCS800-S02 [Електронний ресурс] / ABB. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/products/DCS800-S02/dcs800-s02?UA>.
3. Malafeev, S.I., Zakharov, A.V. & Safronenkov, Y.A. A New Series of Asynchronous Frequency-Controlled Motors for Mining Excavators. *Electr. Engin.* 90, 299–303 (2019). <https://doi.org/10.3103/S1068371219040060>.
4. Malafeev, S.I., Novgorodov, A.A. Design and implementation of electric drives and control systems for mining excavators. *Electr. Engin.* 87, 560–565 (2016). <https://doi.org/10.3103/S1068371216100035>.
5. Kuznetsov, N. K., Iov, I. A., & Iov, A. A. (2018). Investigation of efficiency of electric drive control system of excavator traction mechanism based on feedback on load. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015, 032176. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032176>.
6. Lukashuk, O. A., Komissarov, A. P., & Lagunova, Y. A. (2020). Developing a digital control system for the main drives of an open-pit excavator as a major field of increasing the efficiency of excavator operation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 709(2), 022117. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/2/022117>

УДК 681.5:621

Л.Ю. Федік, М.О. Грицюк

Луцький національний технічний університет

E-mail: fedikltsia@gmail.com

АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗАЦІЇ

У даній статті розглянуто та проаналізовано актуальність вибору об'єкта дослідження. Висвітлено основні етапи технологічного процесу, матеріали та обладнання необхідні під час виготовлення мінеральної вати. З'ясовано ключові параметри від яких суттєво залежить якість та кількість виготовленої продукції. Подано вимоги до системи автоматизованого управління технологічним процесом під час виробництва мінеральної вати. Вказано можливості та перспективи подальших наукових досліджень у цій сфері.

Ключові слова: мінеральна вата, виробництво, технологічний процес, автоматизація, параметри.

L.Yu. Fedik, M.O. Hrytsyuk. Analysis of the production process of mineral wool production, as an object of control during automation

This article examines and analyzes the relevance of choosing a research object. The main stages of the technological process, materials and equipment necessary for the production of mineral wool are highlighted. The key parameters on which the quality and quantity of manufactured products significantly depend are clarified, and the requirements for the system of automated control of the technological process in the production of mineral wool are presented. Possibilities and prospects for further scientific research in this field are indicated.

Key words: mineral wool, production, technological process, automation, parameters.

Постановка проблеми. Мінеральна вата в наш час міцно ввійшла в побут і сфери її застосування величезні. Мінеральна вата, є одним із незамінних матеріалів у будівельній індустрії, який донедавна використовувався як утеплювач і звукоізолятор, завдяки таким властивостям як: вогнестійкість, хімічна стійкість і висока термоізоляція.

Історія розвитку мінеральної вати починається з другої половини XIX століття, коли виникла потреба у новому, високоякісному утеплювачі для будівель. У середині 70-их років у Сполучених Штатах науковець Джон Плеєр проводив дослідження з плавлення та виробництва базальтової вати – матеріалу, який отримував із вулканічних порід і природних мінералів, як то базальт і скло. Цей науковець та інші того часу вдосконалювали технології плавлення, формування волокон і процес обробки, намагаючись надати продукту оптимальні характеристики.

Будь-яку продукцію виробничого процесу можна отримати на універсальному неавтоматизованому обладнанні. Однак автоматизація виробничих процесів сприяє підвищенню продуктивності та якості продукції, скороченню кількості обслуговуючих працівників.

На сьогоднішній день, незважаючи на екологічну стурбованість щодо мінеральної вати, розробка та дослідження систем автоматизації для її виробництва залишаються актуальними. Оскільки, мінеральна вата продовжує користуватися попитом у багатьох країнах світу через зручність, доступність і вартість [1-2].

Як альтернативу мінеральній ваті можна використовувати біополімери та PLA (полілактид), які можуть вироблятися зі стахійно-відновлюваних ресурсів, таких як: кукурудза чи цукрова тростина. Ці матеріали не лише біорозкладні, але й володіють високою термоізоляцією та іншими властивостями, необхідними для утеплення будівель.

Дослідження та розробка нових систем автоматизації з біополімерів можуть призвести до технологічних проривів під час виробництва вати, що дозволить забезпечити меншу шкідливість навколишньому середовищу. Крім цього автоматизовані системи можуть також бути адаптовані до ефективного перероблення та повторного використання матеріалів і визначить успішність цього матеріалу в сучасному світі, де зростає усвідомленість важливості екологічного впливу будівельних матеріалів на навколишнє середовище [3].

Огляд останніх досліджень з проблеми. Дослідженнями виробництва мінеральної вати займалися такі вчені, як: Джон Плеєр, Едвардом Паррі. Основні методи розв'язання нестационарних задач теплопровідності висвітлені в працях дослідників України та зарубіжжя як то: В. В. Скопечкого, І. В. Сергієнка, Г. А. Шинкаренка, Г. В. Залужної, П. В. Черпакова, Г. Н. Дулнева, С. О. Тихомірова, Y. Sakai, E. Мітчела, Р. Уейта, R. Barnhill, J. Cavendish, W. Gordon, G. Nielson та інших [4].

До винайдення способу створення мінеральної вати, яка б втримувала постійну температуру тривалий час було прикладено не мало зусиль. Завдяки дослідженням Джона Плеєра ця проблема була вирішена.

Мінеральна вата широко використовувалася, як теплоізолюючий матеріал для будівництва, проте останнім часом вона знайшла застосування як шумоізолюючий матеріал, що може зменшити передачу шуму більше ніж на 50 дБ! [2-6].

Формування цілей статті (постановка завдання). Провівши аналіз останніх досліджень, було зроблено висновок щодо актуальності пошуків технічних рішень за даною темою – автоматизація процесу виробництва мінеральної вати. Адже обґрунтування особливостей застосування автоматизованих систем управління технологічними процесами забезпечує підтримку промислової безпеки підприємств і будівництва.

Тому під час написання даної статті було поставлено за мету провести аналіз виробничого процесу виробництва мінеральної вати, як об'єкта керування під час автоматизації, для підвищення продуктивності виробництва.

Виклад матеріалів дослідження. Мінеральна вата, як сучасний утеплювач і будівельний матеріал, виробляється за складним процесом, який складається з декількох етапів. Серед яких основними є вибір і плавлення сировини, волоконне виробництво, пакування та транспортування.

Зазвичай для виробництва мінеральної вати використовують мінерали базальт або скло. Вони відзначаються високою термостійкістю та вогнестійкістю, що вважається ідеальним для будівельних матеріалів. Після їх подрібнення сировину відсортовують. Оскільки різні розміри частинок використовуються для отримання певних типів мінеральної вати з відмінними характеристиками.

Наступним етапом виробництва мінеральної вати є плавлення сировини за високих температур. Цей процес вимагає значних енергетичних затрат і спеціалізованого обладнання. А саме великих вагранних печей, де розмелені базальт або скло перетворюється в рідку розплавлену масу, завдяки нагріванню до дуже високої температури (приблизно 1400-1600°C) і направляється в нижню частину вагранки.

Після завершення цього процесу розплавлені мінерали проходять через спеціальні диски чи отвори, де витягуються та волокнізуються. Утворені волокна втримують основні характеристики сировини, як то вогнестійкість та термостійкість. Вони зазвичай довгі, тому їх розрізають на частини певної довжини. Процес різання може відбуватися механічним або термічним способом. Отримані волокна формують у великі мати, які потім розрізають на стандартні або замовлені розміри. Потім їх упаковують у рулони, плити чи інші зручні форми для транспортування та застосування. Упаковочні матеріали при цьому застосовуються екологічно стійкі, що дозволяє оптимізувати логістику під час транспортування. Для запобігання псування мінеральної вати під час зберігання оптимальними і стабільними температурами навколишнього середовища повинні бути 5-25 °C [6-7].

Сировина для виробництва мінеральної вати повинна відповідати стандарту і технічним вимогам її виробництва, ГОСТу 4640-2011. Крім цього, один раз підприємство-виробник має проходити сертифікацію будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, надаючи для експертизи зразки випускаючої продукції, що відповідають певним вимогам теплоізоляції і міцності [8].

Схематично весь процес виготовлення мінеральної вати зображено на рисунку 1.

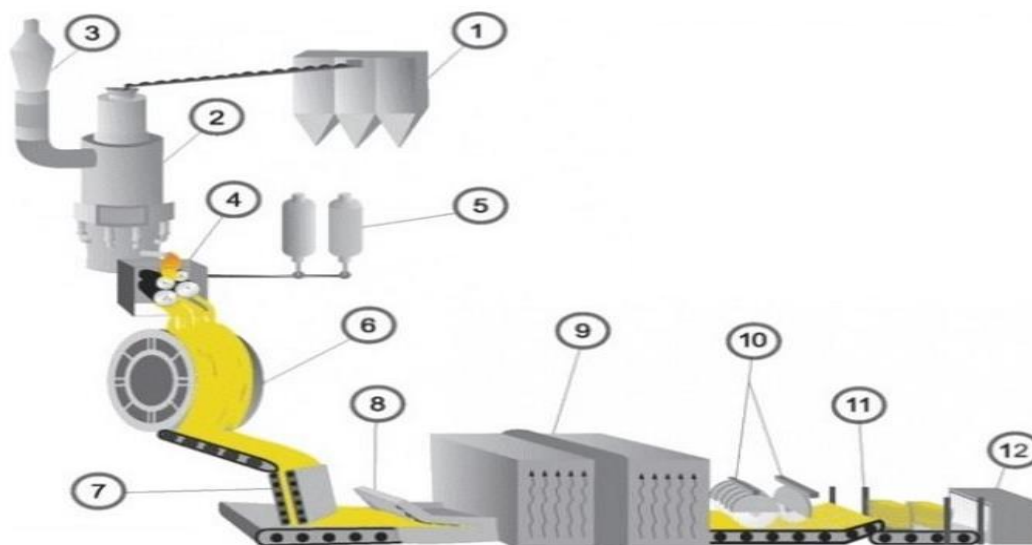


Рис. 1. Схема технологічного процесу виготовлення мінеральної вати: 1 – вузол підготовки сировини; 2 – вагранна піч; 3 – система повітроочищення; 4 – багатовалкова центрифуга; 5 – вузол підготовки; 6 – камера волокноосадження; 7 – маятниковий розкладач; 8 – гофрувальник-підпресувальник; 9 – камера теплової обробки; 10 – вузол різання килима; 11 – платформа штабелювання; 12 – вузол пакування

Основні параметри технологічного процесу виготовлення мінеральної вати представлені в таблиці 1.

Параметри технологічного процесу виготовлення мінеральної вати

№ з/п	Параметр, що контролюється	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення, %	Ступінь автоматизації
1	Температура у печі нагрівання	°C	1400-1600	±2	Реєстрація, контроль і управління
2	Час перебування сировини у печі нагрівання	Хв	8	±0.1	Реєстрація, контроль
3	Швидкість обертання центрифуги	об/с	1	±0.1	Реєстрація, контроль
4	Тиск преса	МПа	10	±3	Реєстрація, контроль

Для досягнення оптимального результату планування виробництва мінеральної вати розглянемо технологічний процес нагрівання сировини у вагранній печі для виробництва мінеральної вати у вигляді “чорної скриньки” (рисунок 2).

На рисунку представлені вхідні, керуючі, вихідні параметри системи, а також збурюючі фактори. Зокрема, вхідними параметрами є $T_{\text{кн}}$ - температура у печі нагрівання, S – швидкість обертання; t - час плавлення; P – тиск, $T_{\text{нп}}$ – температура нагрівального пресу, вихідними - Q - якість готової продукції, а збурюючими - $T_{\text{нс}}$ - температура навколишнього середовища.

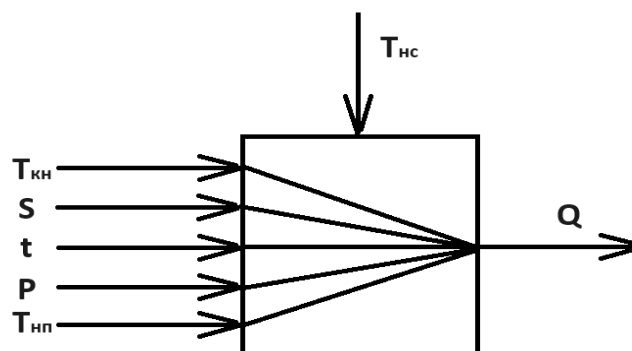


Рис. 2. Схема взаємозв'язку параметрів, що визначають якість готової продукції вагранної печі

Отже, якість готової продукції залежить від багатьох чинників. А саме: температури в печі нагрівання, часу плавлення матеріалу, тиску та температури нагрівання печі.

Встановлена взаємозалежність технологічних параметрів процесу дає можливість зрозуміти, що відхилення хоча б одного параметра від встановлених значень негативно відзначиться на якості та кількості сировини для виготовлення мінеральної вати. Наприклад, якщо понизиться температура печі, то недостатньо прогріється сировина, що призведе до втрати її якісних характеристик.

Усі етапи виробничого процесу виробництва мінеральної вати автоматизовані. Впровадження системи контролю та управління є досить складним завданням, особливо коли мова йде про складний об'єкт, де різні вимірювальні та керуючі пристрої та сигнали повинні бути підключені до функціонального блока. Під час проектування такої системи потрібно мати уявлення про всі технічні та технологічні вимоги, функціональність всього обладнання та пристроїв, які будуть експлуатуватися.

Тому для полегшення проектування системи контролю та управління процесом виробництва мінеральної вати була розроблена блок-схема управління цим процесом на якій представлені всі контролери та дії що вони виконують, рисунок 3.

Як вже було сказано вище, виробництво мінеральної вати складається з декількох технологічних процесів, які чітко розмежовані між собою. Тому для кожного технологічного процесу передбачений свій контролер. Найбільшим набором блоків управління є Simatic S7 1200

(трансформаторна підстанція і дизель-генератор; конвеєри для різання вати, вібраційні елементи, вага і піч; центрифуги; компресорне обладнання; вентиляційна система та пакувальна машина). До Simatic S7 300 підключені камера ПК [9-10].

Всі блоки управління з'єднані між собою мережею Profibus DP, яка використовується для обміну даними і синхронізації часу технологічних вузлів. Децентралізовані периферійні пристрої, розташовані в шафах уздовж приводу і слугують для збору локальних цифрових, аналогових сигналів і передачі команд виконавчим органам. А також наявні периферійні пристрої, що керують окремими технологічними вузлами та виконують відповідні алгоритми керування.

Крім цього є пожежні та охоронні пульти, що підключені до системи управління та система HVAC (система опалення та вентиляції). Під час виникнення пожежі пункт управління пожежею блокує роботу окремих технологічних вузлів і здійснюється нагляд і управління технологічними агрегатами через локальні сенсорні панелі, які підключаються до пристроїв PLC, а моніторинг і візуалізація процесу з реєстрацією даних, здійснюється через систему SCADA (1 сервер і два клієнтські комп'ютери). Нагляд за виробництвом здійснюють два оператори зміни, один із яких розташований в головній командній кімнаті (поруч з ПК), а інший - знаходиться поруч із печю вагранкою.

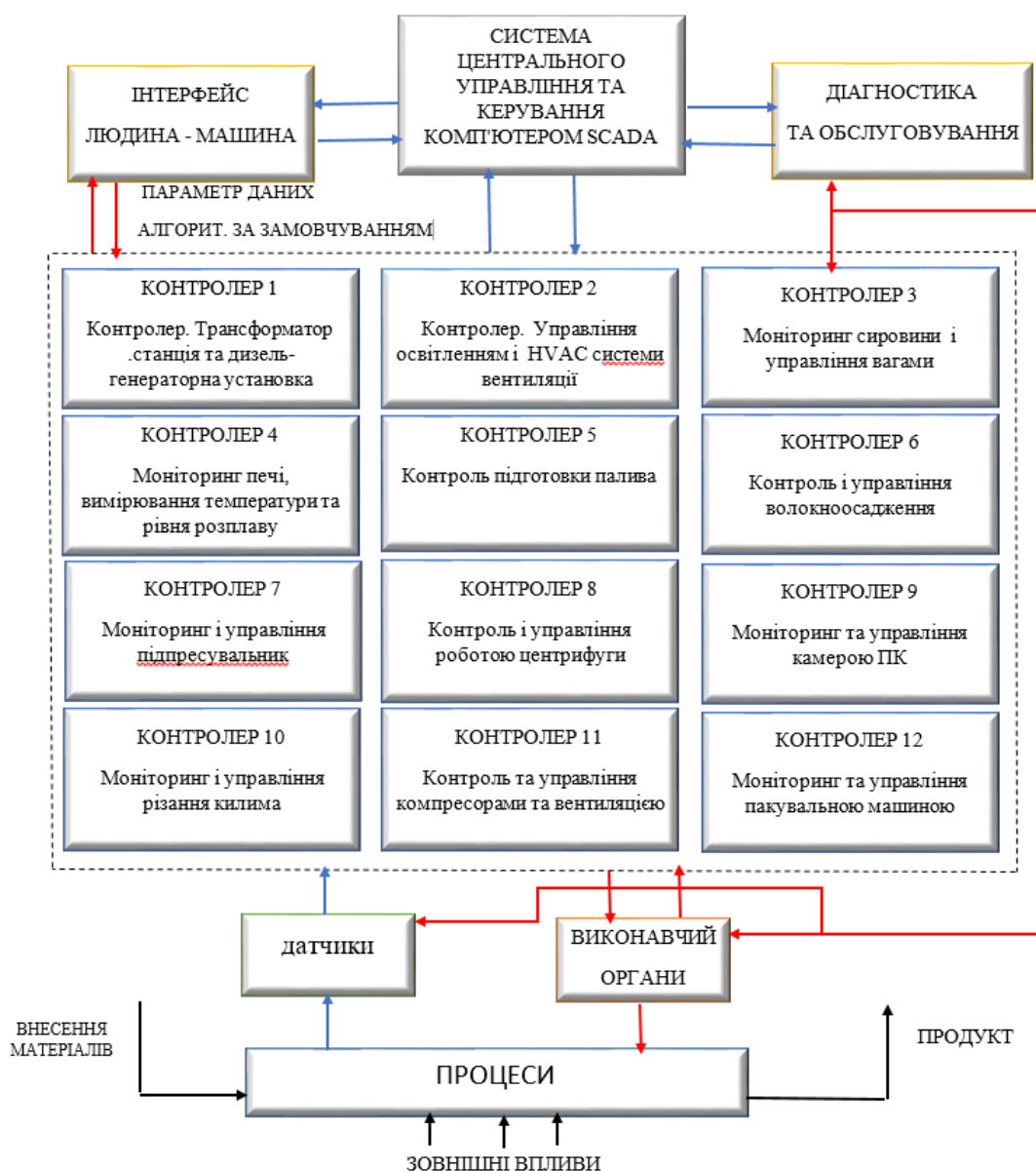


Рис. 3. Блок-схема системи управління технологічним процесом виробництва мінеральної вати

Висновки. Після аналізу основних етапів технологічного процесу під час виготовлення мінеральної вати визначено, що якість готової продукції залежить від таких чинників, як: температура печі, частота обертання центрифуги, час плавлення сировини та час створення волокна.

Нами встановлена взаємозалежність технологічних параметрів процесу під час виробництва мінеральної вати, що дає можливість зрозуміти, що відхилення хоча б одного параметра від встановлених значень негативно відзначиться на якості та кількості виготовлення продукції. Також на якість виготовленої продукції впливає обладнання, яке використовується, якість і тип сировини. Під час дотримання всіх зазначених умов і використання передових технологій, можна досягти випуску якісної продукції.

Крім цього розроблена схема взаємозв'язку параметрів, що визначають якість готової продукції вагранної печі. А також блок-схема системи управління технологічним процесом виробництва мінеральної вати. Ця система автоматизації відповідає всім нормам охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Можливості та перспективи подальших наукових досліджень. Розробка функціональної схеми автоматизації, підбір необхідні датчиків, виконавчих механізмів і мікропроцесорної техніки, розробка електричної схеми підключення елементів системи до мікроконтролера, розробка програми для повноцінної роботи всієї системи, проведення економічного аналізу доцільності та ефективності розробленої системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мінеральна вата. URL: <https://www.eos-klinkier.com.ua/ua/articles/sklad-i-vidi-mineralnoi-vati.html> (дата звернення 02.11.23).
2. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I, II: навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. Вінниця: ВНТУ, 2019. 99 с.
3. Альтернативні джерела. URL: <http://royaldah.com.ua/vlastivosti-mineralno%D1%97-vati/> i <https://xn--e1aebmcsc2a6c6fc.com.ua/> (дата звернення 03.10.23р.).
4. Дослідники URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mineral_wool#cite_note-Appleton-3 (дата звернення 05.10.23).
5. Схема. URL: <http://poradu24.com/remontu/virobnictvo-uteplyuvacha-mineralno-vati-technologiya.html> (дата звернення 10.11.23).
6. Технологічний процес виготовлення мінеральної вати. URL: http://4ua.co.ua/manufacture/ya3bc78b5d43b89521316c36_0.html (дата звернення 13.10.23).
7. Автоматизація виробничих процесів целюлозно-паперового виробництва: Схеми автоматизації [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання целюлозно-паперового виробництва» / А. І. Жученко, М. С. Піргач, Я. Ю. Жураковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 12,4 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51687/1/Avtomatyzatsiia_vyrobnichykh.pdf (дата звернення 16.10.23р.).
8. Державні стандарти. URL: <https://tbs.ua/Doc/new%202020/Sert2.pdf> i <http://vsegost.com/Catalog/51/51410.shtml> (дата звернення 18.10.23р.).
9. Контролер Simatic S7 1200 URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html> (дата звернення 18.10.23р.).
10. Трофімова Ю.В., Кондіус І.С., Федік Л.Ю. Особливості проектування ліній зв'язку обчислювальних мереж об'єктів систем автоматизації. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки».* Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2023. С. 168-172 (DOI 10.36910/6775.24153966.2023.75)

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ САЛАТУ З МОРСЬКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

У статті викладена актуальність вибору об'єкта дослідження. Висвітлено технологічний процес виготовлення салату з морських водорослей. А також параметри технологічного процесу обробки морських водорослей. Зазначені вимоги до системи автоматизації технологічного процесу обробки морських водорослей та чинники, що впливають на показники якості готової продукції технологічного процесу виготовлення салатів із морських водорослей.

Ключові слова: морські водорослі, салат, технологічний процес, переробка, сировина, продукт, автоматизація.

Yu.S. Chernyak, L.Yu. Fedik, O.O. Smoliankin. Analysis of the technological process of manufacturing salad from sea algae as a control object

The article outlines the relevance of choosing a research object. The technological process of making seaweed salad is covered. Also parameters of the seaweed processing process. The requirements for the automation system for the technological process of processing seaweed and the factors influencing the quality indicators of the finished product of the technological process for the production of salads from seaweed are indicated.

Key words: seaweed, salad, technological process, processing, raw materials, product, automation.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток переробних харчових виробництв супроводжується все більш широким застосуванням автоматизованих систем управління технологічними процесами. Досвід застосування автоматизації в цій галузі показав, що комплексна автоматизація на потокових лініях зменшує затрати праці в чотири-п'ять разів, а собівартість продукції може зменшитись до 30-35% [1].

Серед затребуваних продуктів харчування людей є морські водорослі. Оскільки вони вважаються екологічно чистим продуктом і містять значну кількість вітамінів і мінеральних речовин. Водорослі можна розділити на декілька видів: бурі (ламідарія та підвиди: АРАМ, комбу, хідзікі, вакаме і Ліму), червоні (далс, порфіру, Каррагі і родіменію) і зелені (ульва (морський салат), монострома (аонорі), уми будо (морський виноград) і спіруліна). З усього різноманіття водорослей, кількість видів яких перевищує тридцять тисяч, в їжу використовується близько тридцяти.

Завдяки великій кількості корисних речовин морські водорослі відносяться не тільки до харчових продуктів, але і до лікарських. Завдяки йоду, фосфору, калію, бромові, кобальту, миш'яку, радію, марганцю, залізу, магнію, натрію, сполукам сірки, азотистим речовинам. Морські водорослі також багаті вітамінами А, В1, В2, В12, С, D, Е, каротиноїдами і полісахаридами (альгінова кислота).

Споживають морські водорослі після обробки, а також як харчові добавки, у результаті сушіння і перетирання в порошок [2].

Огляд актуальних досліджень з проблеми. Дослідженнями технологічного процесу переробки морських водорослей займалися Томас Брюк (2019), розробляючи процес, в якому використовуються галофільні водорості, що ростуть в умовах високої концентрації солі, для видалення СО₂ з атмосфери і подальшого виготовлення вуглецевого волокна, Шабанова М. (2021), виготовляючи екодобриво з цієї сировини, Центило Л. (2018 р.), досліджуючи прісноводні водорослі як біопаливо, Пишук Л., Сімонова І., Приходько Д. (2023), визначаючи особливості виробництва інноваційних продуктів із водорослей [3-6].

Усі дослідники відзначають, що технологічний процес переробки морських водорослей є дуже складним.

Тому тема дослідження є актуальною. Оскільки автоматизація технологічного процесу виробництва салатів із морських водорослей характеризується неперервністю утворення продукції і контролем її якості.

Формування цілей статті (постановка завдання). Завданнями дослідження є аналіз технологічного процесу виготовлення салату з морських водорослей, параметрів технологічного процесу обробки водорослей, вимог до системи автоматизації технологічного процесу їх обробки, а також чинників, що впливають на показники якості готової продукції технологічного процесу отримання салатів під час обробки морських водорослей.

Виклад матеріалів дослідження. Лінія технологічного процесу переробки морських водорослей починається з автоматизованої системи підготовки висушеної чи замороженої сировини в 800-літрових пластикових контейнерах. Кожен контейнер має систему подачі свіжої води і з'єднаний з системою перемішування. Її завданням є перемішування морських водорослей або їх розморожування, вимивання піску та інших чужорідних частинок. Одночасно даний процес сприяє всмоктуванню висушеними морськими водоростями води для реконструювання натуральної субстанції продукту чи для розморожування водорослей і відтворення якостей натурального свіжого продукту.

Після вимочування і відновлення морських водорослей в пластикових резервуарах, вода видаляється і контейнер автоматично розвантажується в мийну систему барабанного типу. Де продукт хаотично падає, обертається і механічно розподіляється вбудованими в мийний барабан лопатями. А вода рециркулюється через обертовий механічний фільтр у резервуарі для збору води, що містить вбудовані пластини для збору піску. Попередньо очищена і відфільтрована вода перекачується назад у миючий барабан для повторного використання. Таким чином досягається максимальна ефективність за мінімального споживання води. Така двоетапна система промивання водорослей гарантує повне видалення піску перед етапом варіння і охолодження.

У бланширувально-охолоджувальну систему водорослі направляються завдяки автоматичному розподільнику води. Процес варіння водорослей у бланширувальному пристрої супроводжується зрошенням продукту гарячою водою знизу і зверху. Після чого відразу продукти охолоджуються за рахунок аналогічного зрошення крижаною водою.

Бланширувально-охолоджувальна система - це спеціально розроблена установка у вигляді тунелю з вбудованим по всій довжині стрічковим конвеєром для транспортування продукту в ході технологічного процесу. Тунель оснащений рамою-опорою, бічними стінами і знімними кришками з нержавіючої сталі. Гаряча вода подається і розподіляється спеціально розробленою системою трубопроводу, що включає певну кількість форсунок над конвеєрною стрічкою і під нею для якісного зрошення продукту водою. Система подачі води поєднана з кількома насосами для рециркуляції води, використаної в процесі варіння. Використана вода знову нагрівається трубчатим теплообмінником, який виробляє вприскування пари прямо у воду для варіння. Температура контролюється за допомогою розташованого у водному потоці датчика автоматичного стеження і регулювання температури. Регулювання температури води здійснюється клапаном пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулювання пари.

Рециркулююча вода механічно очищається, постійно працюючим фільтруючим стрічковим конвеєром. Рухаючись по всій довжині машини, конвеєр очищає воду для варіння і воду для охолодження переробляючої сировини, щоб запобігти засмічення форсунок, які розпилюють воду на неї. Час варіння можна регулювати. Зазвичай час варіння становить 45-50 хвилин за температури близько 95°C. Відразу після варіння водорослі надходять у секцію охолодження, де вони зрошуються крижаною водою. Даний процес надає морським водоростям свіжого вигляду і зберігає їх природний колір.

Після проходження етапу варіння і охолодження переробляюча сировина збирається на конвеєрі, зневоднюється і подається на візки з нержавіючої сталі об'ємом приблизно 22 літрів кожен. Їх особливістю є спеціальне перфороване дно з нержавіючої сталі, для забезпечення максимального видалення залишків води. Отриманий продукт цього процесу готовий для маринування.

Одним із найбільш поширених способів маринування морських водорослей є змішування продукту з різними маринадами, такими як: спеції, рослинне масло, оцет і інші. Для отримання якісного змішування необхідна досконала система, що забезпечить максимальний контакт сировини з напіврідкими інгредієнтами, для отримання необхідних смакових якостей продукту та збільшення терміну його придатності.

Морські водорослі змішують з такими продуктами, як: очищена і нарізана цибуля, червоний перець, кукурудза чи морепродукти (креветки, мідії, шматочки кальмара) та інші.

Зазвичай після процесу механічного маринування застосовується період витримки продукту в холодному приміщенні за максимальної температури від +2 до +4 °C і більш низьких температур [7-11].

Технологічний процес обробки морських водорослей здійснюється згідно технологічних параметрів, які наведені в таблиці 1 [2-7].

Таблиця 1.

Параметри технологічного процесу обробки морських водорослей

№ з/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення	Відхилення
1	Період варіння	хв	45	$\pm 0,5$
2	Температура варіння	$^{\circ}\text{C}$	95	± 1

Отже, система автоматизації технологічного процесу обробки морських водорослей повинна забезпечити такі вимоги:

1. автоматизований контроль регулювання температури води для варіння водорослей;
2. автоматизований контроль регулювання кількості води для їх промивання;
3. автоматизований контроль регулювання часу їх варіння;
4. автоматизований контроль регулювання кількості додаткових продуктів (спецій) під час фасування.

Якісна обробка водорослей залежить від декількох чинників: температури варіння, періоду варіння, якості води, якості сировини на вході, рис. 1.

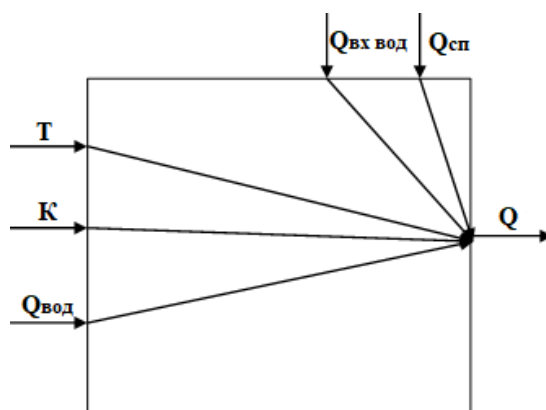


Рис. 1. Схема параметрів, що впливають на показники якості готової продукції

На цьому рисунку показані чинники, що впливають на показники якості готової продукції технологічного процесу отримання салату з морських водорослей у результаті їх обробки. Зокрема, входні параметри: $Q_{\text{вод}}$ – якість води; K – час варіння; T – температура води; вихідні параметри: $Q_{\text{вдр}}$ – якість водорослей; збурюючі параметри: $Q_{\text{вх.вдр}}$ – якість водорослей на вході; $Q_{\text{сп}}$ – якість доданих продуктів (спецій).

Слід зауважити, що під час зміни будь-якого вхідного параметру на недопустиму похибку відбудуться зміни в якості готової продукції, тому дотримання встановлених значень вхідних параметрів є необхідним.

Висновки. У результаті проведених досліджень було з'ясовано, що технологічний процес отримання салату з морських водорослей складний і системи автоматики повинні діяти надійно. Етапами технологічного процесу виготовлення салату з морських водорослей є: підготовка висушеної чи замороженої сировини, мийка, бланширувально-охолодження, варіння, маринування, витримка продукту в холодному приміщенні. Крім цього окреслені параметри технологічного процесу обробки морських водорослей, період варіння 45 хв і температура варіння 95°C , та вимоги до системи автоматизації цього процесу. А також виокремлені чинники, що впливають на показники якості готової продукції технологічного процесу отримання салатів під час обробки морських водорослей, варіння, період варіння, якість води та сировини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація виробничих процесів: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» / уклад Ю.Л. Гунько, Ю.В. Федорусь. Луцьк: Луцький НТУ, 2015. С.4-8

2. Водорості Нори для суши – види, сорти, склад, корисні властивості. URL: <https://roll-club.kh.ua/uk/vodorosti-nori-dlja-sushi-vidi-sorti-sklad-korisni-vlastivosti/> (дата звернення 15.09.2023)
3. Вивчення застосування водорослей для виготовлення вуглецевого волокна. <https://www.coatings.net.ua/artykuly/vivchennya-zastosuvannya-vodorostej-dlya-vigotovlennya-vuglecevo-go-voлокna,812>)
4. Маріупольська студентка виготовляє екодобрива з морських водорослей. <https://v-variant.com.ua/maryupolskaia-studentka-yszhotavlyvaet-ko-udobreniya-ysz-morskykh-vodorosley/>)
5. Визначено, які енергетичні культури придатні до вирощування на півдні України. <https://superagronom.com/news/5888-viznachenno-yaki-energetichni-kulturi-pridatni-do-viroschuvannya-na-pivdni-ukrayini>)
6. Огляд стратегій розвитку та особливостей виробництва інноваційних продуктів з водорослей. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, (2023). № 2(16). С. 86-90 (<http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/278626> (DOI:<https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.02.12>))
7. Розробка рецептури та технології виготовлення овочевих салатів підвищеної біологічної цінності. URL: <http://journals-lute.lviv.ua/index.php/visnyk-tech/article/view/394> (дата звернення 15.09.2023)
8. Korzun, V. N. Gigienicheskaia problemapro-filaktiki vnutrennego obluchenija organizma pri dli-tel'nom alimentarnom postuplenii radionuklidov cezija i stroncija: dis. doktora med. nauk: 14.02.01 / Kor-zun Vitalij Naumovich, K., 2020, 294 s.
9. Peresichnyj M. and Palamarek K. (2021). Magistry joda. Mineral'nyj i vitaminnyj sostav syrnor-as-titel'nyh past s povyshennym soderzhaniem joda, Food Technologies & Equipment, No2, s. 22-23.
10. Маркіна Л. М., Смолянкін О. О. Моделювання процесу замісу у змішувальному баку при виробництві спирту. WORLD SCIENCE. № 6 (34) Vol. 2, June 2018. P. 52-56
11. Федік Л.Ю., Кондіус І.С., Остапчук Д.В. Особливості проектування пунктів управління систем автоматизації. *Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України: Збірник наукових праць / Під редакцією Г.В. Рудакової та ін. Херсон – Хмельницький: Видавництво ФОП Вишемирського В.С., 2023. С.39-41 (ISBN 978-617-7941-95-7 (електронне видання).*

УДК 37.091.3:004.9

В.С. Чумак

Технічний фаховий коледж ЛНТУ

E-mail: vkachumak@gmail.com

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

В даній роботі розглянуто ключові аспекти використання інформаційних технологій у сучасній освіті. Вона розглядає переваги та виклики впровадження таких систем, а також надає конкретні шляхи і поради щодо успішного впровадження інформаційних технологій у навчальний процес. Підкреслює важливість адаптації освітніх систем до вимог сучасності та наголошує на змінному характері технологій, що вимагає постійного оновлення та професійного розвитку викладачів та адміністрації. Детально розглядаються інформаційні системи та технології, які можуть бути використані в освітньому процесі.

Ключові слова: інформаційні системи, системи управління навчанням, навчальні платформи, освітні інтерактивні засоби, Moodle, Google Classroom, Padlet, Zoom, Microsoft Teams.

V. Chumak. Implementation of information systems and technologies in the educational process. This paper considers the key aspects of the use of information technologies in modern education. It considers the advantages and challenges of implementing such systems, as well as provides specific ways and advice on the successful implementation of information technologies in the educational process. Emphasizes the importance of adapting educational systems to modern requirements and emphasizes the changing nature of technologies, which requires constant updating and professional development of

teachers and administration. Information systems and technologies that can be used in the educational process are considered in detail.

Keywords: information systems, learning management systems, learning platforms, educational interactive tools, Moodle, Google Classroom, Padlet, Zoom, Microsoft Teams.

Постановка проблеми. Сучасний світ надзвичайно динамічний, і зростаюча інформаційна обтічність вимагає від освіти адаптації до нових умов. Впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес є ключовим кроком у вдосконаленні системи освіти та підготовці молодого покоління до викликів сучасності. Розглянемо переваги, виклики та шляхи впровадження інформаційних технологій в освітню сферу.

Переваги впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес:

1. Підвищення доступності освіти: Інформаційні технології дозволяють здійснювати дистанційне навчання, що робить освіту більш доступною для різних категорій людей, включаючи тих, хто має обмежену фізичну можливість або перебуває в зоні обмеженого доступу до навчальних закладів.

2. Підвищення мотивації до навчання: Використання інтерактивних технологій, відеоуроків, ігор та онлайн-платформ допомагає залучити студентів до навчання та зробити навчальний процес цікавішим та зрозумілішим.

3. Покращення якості навчання: Інформаційні системи дозволяють збирати та аналізувати дані про навчальний процес, що сприяє покращенню якості наданої освіти. Викладачі можуть отримувати зворотний зв'язок щодо успішності студентів та адаптувати програми навчання відповідно до потреб.

4. Розвиток критичного мислення та інформаційної грамотності: Використання комп'ютерів та інтернету в навчальних цілях сприяє розвитку навичок пошуку, аналізу та оцінки інформації, що є важливими у навчанні та житті.

5. Глобальне співробітництво: Інтернет дає можливість здійснювати спільні проєкти та обмін досвідом зі студентами та викладачами з усього світу, що розширює горизонти навчання та підвищує культурну грамотність [4].

Виклики впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес:

1. Технічні та інфраструктурні обмеження: Впровадження інформаційних технологій вимагає наявності відповідної інфраструктури та доступу до сучасних комп'ютерів та інтернету, що може бути обмежене в деяких регіонах або для деяких соціальних груп.

2. Проблеми з безпекою та конфіденційністю даних: Збільшення кількості персональної інформації, що обробляється в електронній формі, ставить питання про захист даних та конфіденційність. Це особливо актуально в освітніх закладах.

3. Необхідність підготовки викладачів: Викладачі повинні бути готові до використання нових технологій та інформаційних систем у навчанні. Їм необхідно набути відповідні навички та підготувати студентів до користування інформаційними ресурсами.

4. Шляхи впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес можуть бути різними і варіюватися в залежності від конкретних умов та потреб освітнього закладу [8]. Ось декілька ключових шляхів, які можуть бути використані для успішного впровадження інформаційних технологій у навчальний процес:

– Розробка стратегії та планування: Першим кроком є розробка стратегії впровадження інформаційних технологій, яка визначає мету та способи досягнення цієї мети. Планування має включати в себе конкретні кроки, терміни виконання, і відповідальних осіб.

– Підготовка викладачів та персоналу: Навчання викладачів та іншого персоналу використанню інформаційних технологій є важливим аспектом впровадження. Це може включати в себе професійний розвиток, семінари, та індивідуальну підтримку для тих, хто потребує [3].

– Вибір інформаційних систем та платформ: Важливо вибрати відповідні інформаційні системи та платформи, які відповідають потребам освітнього закладу. Це можуть бути навчальні платформи, управлінські системи, електронні підручники, тощо [2].

– Створення цифрових навчальних ресурсів: Розробка цифрових навчальних матеріалів, які відповідають навчальним планам та програмам, є важливою частиною впровадження. Це може включати в себе створення відеоуроків, інтерактивних завдань, електронних тестів та інше.

– Створення інфраструктури та забезпечення доступу: Важливо створити необхідну інфраструктуру для використання інформаційних технологій, включаючи доступ до комп'ютерів,

інтернету та програмного забезпечення. Також важливо забезпечити доступність для всіх студентів та вчителів.

– Залучення стейкхолдерів: Залучення всіх стейкхолдерів, включаючи батьків, студентів, вчителів та адміністрацію, до процесу впровадження є важливим аспектом. Вони можуть надавати цінний зворотний зв'язок та підтримку для успішного впровадження.

– Моніторинг та оцінка: Систематичний моніторинг та оцінка ефективності впровадження інформаційних технологій допомагають вчасно виявляти проблеми та коригувати підходи для досягнення кращих результатів.

Впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес може бути викликом, але з правильним плануванням та підтримкою від усіх стейкхолдерів цей процес може призвести до покращення якості освіти та підготовки студентів до сучасного світу. Підготовка інфраструктури: однією з перших кроків є створення адекватної інфраструктури для інформаційних технологій. Це включає в себе забезпечення доступу до комп'ютерів, інтернету, а також створення цифрових платформ для навчання та управління освітнім процесом.

Впровадження інформаційних систем та технологій в освітній процес може бути здійснене за допомогою різних інструментів та ресурсів. Вибір конкретних інформаційних систем та технологій повинен базуватися на потребах та можливостях освітнього закладу, а також на цілях і завданнях, які ви ставите перед впровадженням технологій в освітньому процесі [7]. Ось деякі інформаційні системи та технології, які можуть бути корисними:

– Навчальні платформи: Це веб-сервіси, які надають можливість створювати та розповсюджувати навчальні матеріали, відеоуроки, завдання та тестування [6]. Прикладами таких платформ є Moodle, Google Classroom, Padlet та інші.

MOODLE (див. рис. 1). Навчальна платформа, яка допоможе створити ефективне інтернет-навчання у власному середовищі. Можливість створювати курси, близько 20 видів діяльностей. Є мобільний додаток [1].

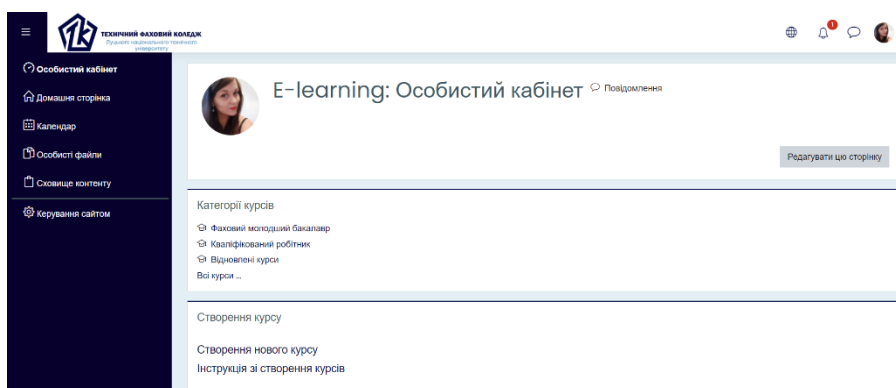


Рис. 1. Інтерфейс системи Moodle

GOOGLE CLASSROOM (див. рис. 2). Безкоштовний веб-сервіс, створений Google для закладів освіти. Є мобільний додаток.

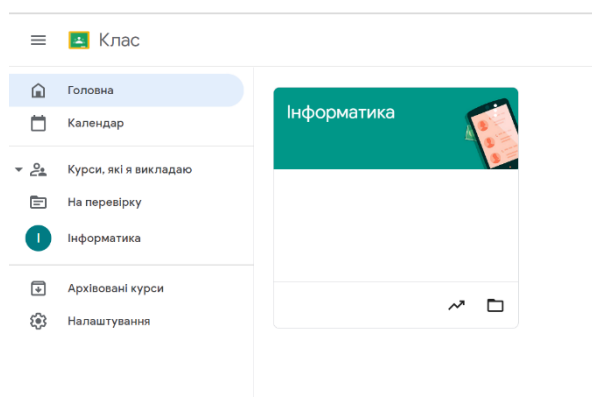


Рис. 2. Стартове вікно електронної платформи Google Classroom

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

Padlet (див. рис. 3). Мультимедійний ресурс для створення, спільного редагування та зберігання інформації. Це віртуальна стіна, на яку можна прикріплювати фото, файли, посилання на інтернет-сторінки та замітки.

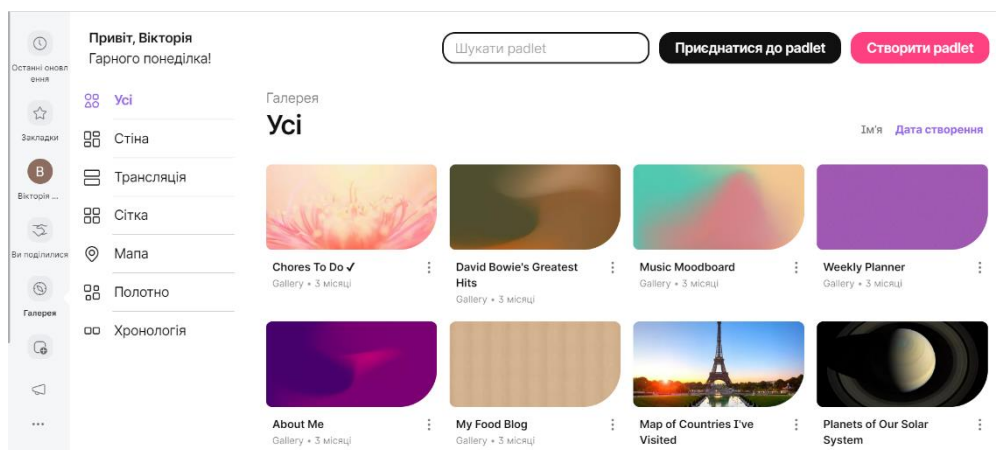


Рис. 3. Інтерфейс платформи Padlet

- Електронні підручники: Електронні версії підручників дозволяють студентам та викладачам користуватися навчальними матеріалами на комп'ютерах, планшетах та смартфонах.
- Системи управління навчанням (LMS): LMS дозволяють вчителям керувати навчанням, стежити за успішністю студентів, надавати завдання та вести облік навчальних досягнень.
- Відеоконференції та віртуальні класи: Засоби відеокommунікації, такі як Zoom, Microsoft Teams дозволяє вчителям та студентам спілкуватися дистанційно та проводити пари в режимі реального часу.

Zoom (див. рис. 4). Сервіс для проведення відеоконференцій та онлайн-зустрічей. Дозволяє підключати одночасно до 100 пристроїв безкоштовно, з 40-хвилинним обмеженням для безкоштовних акаунтів.

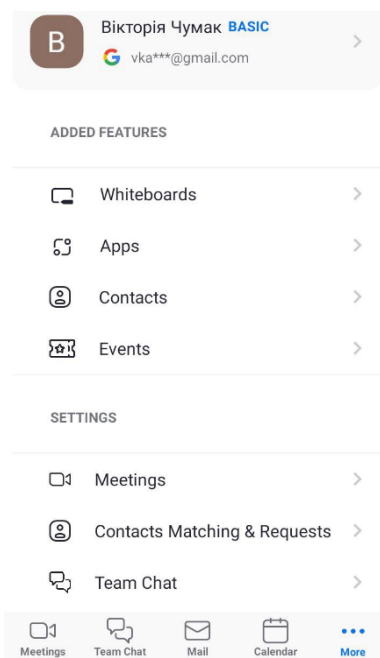


Рис. 4. Інтерфейс мобільного додатку Zoom

Microsoft Teams (див. рис. 5) для навчальних закладів допомагає викладачам легко створювати віртуальні класи, організовувати завдання і спільно працювати над файлами Word, Excel та PowerPoint у режимі реального часу.

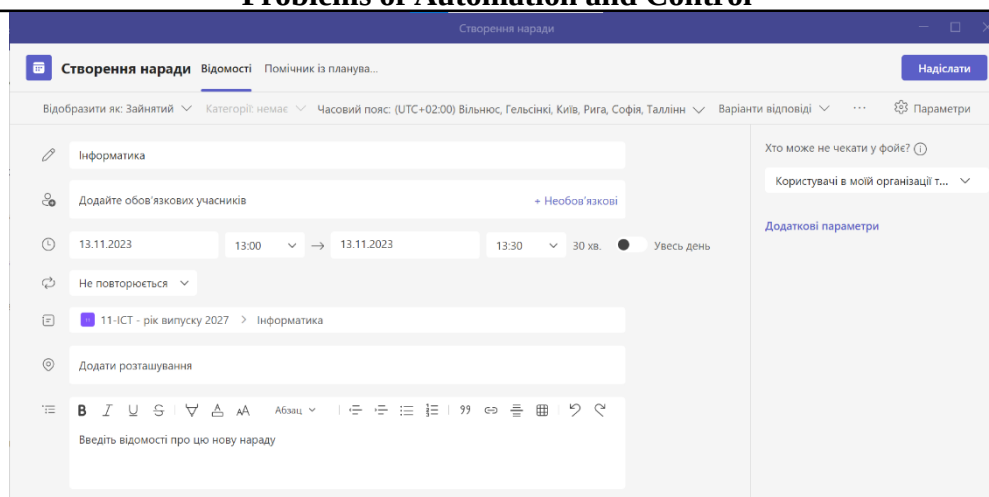


Рис. 5. Вікно створення наради у Microsoft Teams

– Інтерактивні дошки та проєкційні системи: Інтерактивні технології дозволяють викладачам створювати інтерактивні заняття, робити презентації та спільно працювати з студентами над матеріалом.

– Ігрові технології: Використання ігор у навчанні може бути ефективним способом залучити студентів та розвинути їхні навички та знання.

– Хмарні технології: Зберігання та обмін даними у хмарних сервісах дозволяє легко доступатися до навчальних ресурсів з будь-якого пристрою та місця.

– Інтерактивні веб-сервіси та додатки: Використання веб-сервісів та додатків, які дозволяють створювати інтерактивні завдання, тести, анімації та інше, допомагає зробити навчання цікавим та захоплюючим [5].

– Віртуальна реальність (VR) та розширена реальність (AR): Використання VR та AR може створити імерсивне навчання, де студенти можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами та сценаріями.

– Системи аналітики: Використання систем аналітики дозволяє збирати та аналізувати дані про успішність студентів, що допомагає викладачам та адміністрації вдосконалювати навчальний процес.

Висновки. В умовах стрімкого розвитку інформаційних систем та збільшення їх всеосяжного впливу на усі сфери людського життя, освітній процес не може залишатись осторонь. Збільшення ступеню інформатизації навчання – важливий крок як для актуалізації освіти, так і для формування сталого інтересу в усіх учасників навчального процесу, зокрема й студентів.

Вибір конкретних інформаційних систем та технологій повинен базуватися на цілях та потребах конкретного освітнього закладу, а також здійснюватися з урахуванням доступності технічних ресурсів та підготовки персоналу. Важливо також регулярно оновлювати технології та пристосовувати їх до змінних потреб навчання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Авдєєв, О.В. Використання дистанційної системи MOODLE для оптимізації навчального процесу у вищій школі / О.В. Авдєєв // Мед. освіта. – 2015. – N 1. – С. 6-8.

2. Васько О.О., Бутенко В.Г., Шаповалова О.В. Дистанційне навчання: досвід використання, проблеми, перспективи. Вісник Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка. Педагогічні науки. 2020. Вип. 2. С. 59-67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgnpu_2020_2_10. Дата звернення: 05.10.2023.

3. Осадчий В.В. Удосконалення професійної підготовки майбутніх вчителів засобами комп'ютерно-орієнтованої системи навчання. / В.В. Осадчий // Інформаційні технології в освіті: Збірник наукових праць. Вип.2. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2008. – с. 90-94.

4. Прахова С.А., Даценко О. А., Семенов К. А. Дистанційне навчання у просторі сучасних освітніх систем: психологічний контекст. Вісник Університету імені Альфреда Нобеля. Серія: Педагогіка і психологія. 2020. № С. 260-266. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduer_2020_2_31. Дата звернення: 05.11.2023.

5. Сидоренко О.І. Сучасні освітні технології у вищій школі: Матеріали міжнар. наук.-метод. конф. (К., 1-2 листопада 2007р.): Тези доповідей: У 2 ч. – Ч.2 / Відп. ред. А.А. Мазараки. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. – 259с.

6. Шахіна І.Ю., Лазнюк Д.С. Інтенсифікація освітнього процесу з використанням on-line засобів // Фізико-математична освіта: науковий журнал. 2017. Випуск 4(14). С. 318-323.

7. Шулікін, Д. Дистанційний режим: студентський, викладацький та університетський вимір / Д. Шулікін // Освіта України. – 2020. – N 29, 27 липня. – С. 10-11.

8. Яцюк В.П. Використання інноваційних технологій у навчанні студентів та аспірантів / В.П. Яцюк, Є.В. Трубникова, Н.В. Стабровський // Підвищення якості освітнього процесу в університеті: збірник матеріалів наук.-метод. конф. – Т. 2. – К.: КДМУ, 2008. – С.55-57

УДК 37:004.5

С.Д. Шумбасв, О.О. Панасюк, П.В. Саварин

Луцький національний технічний університет

E-mail: sshumb2002@gmail.com, saschapanasyuk2703@gmail.com, savaryn.pasha@lntu.edu.ua

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В КОНТЕКСТІ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ОСВІТИ: ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ, ПРАКТИЧНІ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Стаття призначена розгляду ролі та впливу штучного інтелекту на освітній процес в контексті індивідуалізованого навчання. Поглиблюючись у теоретичні основи штучного інтелекту, у статті викладено ключові можливості використання ШІ у відповідності до потреб кожного учня. Запропоновано аналіз практичних реалізацій штучного інтелекту в освіті, описуючи конкретні випадки застосування та їх вплив на ефективність навчання. Викладено огляд практичної реалізації впливу ШІ шляхом огляду платформ, додатків та алгоритмів застосування ШІ.

Ключові слова: штучний інтелект, індивідуалізоване навчання, персоналізація, адаптивне навчання

S. Shumbaiev, O. Panasiuk, P. Savaryn. Artificial intelligence in the context of personalized education: theoretical approaches, practical implementations, and development prospects.

The article is intended to consider the role and impact of artificial intelligence on the educational process in the context of individualized learning. Delving into the theoretical foundations of artificial intelligence, the article outlines the key possibilities of using AI by the needs of each student. An analysis of practical implementations of artificial intelligence in education is offered, describing specific cases of application and their impact on the effectiveness of education. An overview of the practical implementation of the impact of AI is presented by reviewing platforms, applications and algorithms for the application of AI.

Keywords: artificial intelligence, individualized learning, personalization, adaptive learning

Постановка проблеми. Широке впровадження інформаційно-комунікаційних технологій та їх бурхливий розвиток у сучасному світі дає поштовх до змін та перебудови і освітньо-виховного процесу. За останні роки традиційна освіта в Україні зазнає постійних змін, що зумовлено необхідністю її інтеграції в світовий освітній простір, необхідністю удосконалення традиційних освітніх практик, підвищення ефективності навчання. Одним із найбільш перспективних напрямків в контексті оновлення освіти є індивідуалізація навчання, що постає ключовим компонентом ефективного та адаптивного освітнього процесу.

Широкий спектр можливостей для побудови більш персоналізованих та ефективних методів навчання, індивідуалізації освітнього процесу відкривається шляхом впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) в цій сфері [3].

Під терміном «індивідуалізоване навчання» слід розуміти підхід, спрямований на створення унікальних освітніх програм, які враховують індивідуальні потреби, інтереси, темп та стиль навчання кожного учня. Саме ця ідея стала каталізатором для використання штучного інтелекту в освітній сфері, де алгоритми ШІ можуть адаптувати процес навчання під конкретного учня, оптимізуючи навчальний матеріал та методику передачі знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної теми. Штучний інтелект, впроваджений у сферу освіти, привертає значну увагу вчених та освітян світу через свій потенціал оптимізувати навчання та покращувати процес освіти. Останні дослідження у цій області надають унікальні відомості про можливості та виклики використання штучного інтелекту в освітній сфері.

В умовах реформування освіти в Україні, її інтеграції у міжнародний простір та орієнтації на компетентнісний підхід питання індивідуалізації навчання шляхом цифровізації та впровадження технологій штучного інтелекту активно стає центром новітніх досліджень. Ініціативи та дослідження вітчизняних науковців та освітян зорієнтовані на розуміння можливостей впровадження штучного інтелекту у систему освіти та його вплив на навчальний процес. Поруч з цим, глобальні наукові спільноти активно обговорюють результати досліджень, які охоплюють широкий спектр теоретичних та практичних аспектів використання ШІ в освіті [2].

Дослідження з використання штучного інтелекту в освіті відображають ключовий напрямок удосконалення навчального процесу та сприяють розвитку інноваційних методів навчання. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій тема цифровізації освіти активно досліджується і на міжнародному рівні. Останні дослідження у цій області пропонують важливі відомості про можливості та виклики, пов'язані з використанням штучного інтелекту в освіті. Так, у дослідженні «AI in Education: A Review of Opportunities and Challenges» автори Benedict du Boulay, Rose Luckin акцентують увагу на потенційних можливостях штучного інтелекту у сфері освіти. У дослідженні запропоновано аналіз перешкод та можливостей впровадження ШІ у навчальний процес та вказано потенціал цієї технології для індивідуалізації навчання. Переваги та можливі наслідки використання штучного інтелекту у сфері освіти описано у статті «Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning», авторів Lei Xing, Gwo-Jen Hwang. Крім того, у статті підкреслюються області, де ШІ може покращити процес навчання, одночасно вказуючи на виклики, що виникають у зв'язку з його впровадженням у навчальні програми.

Метою статті є огляд сфери застосування технологій штучного інтелекту в контексті індивідуалізованого навчання, виокремлення теоретичних засад, аналіз актуальних досліджень та практичного випробування ШІ в навчальному процесі, визначення впливу цих технологій на сучасну освіту та перспектив майбутнього розвитку індивідуалізованого навчання завдяки інноваціям у сфері ШІ.

Виклад основного матеріалу. Штучний інтелект – це галузь науки, що займається розробкою систем, які можуть виконувати завдання, які в іншому випадку потребували б людського інтелекту. Це включає в себе розробку алгоритмів, що навчають комп'ютери та програми робити розумні висновки, вирішувати завдання, аналізувати дані та навіть навчатися самостійно.

Незважаючи на підвищення інтересу до прийому індивідуалізації навчання, розробка та впровадження персоналізованих підходів та методів у навчальні програми залишається напрочуд складним завданням. Це безпосередньо пов'язано з відсутністю систем, які б могли ефективно забезпечити процес формування індивідуального навчання для кожного учня на основі його унікальних потреби та індивідуальних особливостей.

Ключовим інструментом у вирішенні цієї проблеми постає процес застосування технологій штучного інтелекту.

Штучний інтелект у контексті освіти є не лише передовим напрямом технологічних досягнень, але й ключовим кроком у реалізації персоналізованого підходу до навчання. Одним із вирішальних аспектів сучасної освіти є забезпечення індивідуальної освітньої траєкторії кожного учня, з урахуванням його особистих потреб, темпу та стилю навчання. Штучний інтелект, завдяки своїм алгоритмам та аналітичним здібностям, відкриває нові можливості для здійснення цього індивідуального підходу на масовому рівні [4].

Більше того, зростаюча кількість даних процесів навчання та їх аналіз завдяки штучному інтелекту дозволяє виявляти патерни у навчальних стратегіях та вдосконалювати їх на льоту. Це відкриває можливості для постійного підвищення якості освіти та досягнення оптимальних результатів у процесі навчання.

Такий підхід передбачає створення систем, що використовуються в навчальному процесі, та основним завданням яких є здатність адаптуватися до індивідуальних потреб, здібностей та інтересів кожного учня, забезпечуючи оптимальний навчальний процес.

Проаналізувавши можливості впровадження технологій штучного інтелекту у освітній процес, виокремимо кілька основних напрямків у сфері індивідуалізованого навчання:

- Адаптивні системи навчання. Розробка алгоритмів, які здатні адаптуватися до індивідуальних особливостей кожного учня. Алгоритми ШІ на основі аналізу здібностей учнів, їх

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

потреб, темпу навчання можуть підбирати індивідуальні завдання та матеріали. Важливим в цьому напрямку є дослідження способів використання даних про студентів для персоналізації навчального матеріалу та методик навчання.

- Моделювання та прогностичні аналізи. Розвиток математичних моделей для прогнозування навчальних потреб та успішності учнів. Ці моделі базуються на аналізі даних про студентів, їхнього стилю навчання та виконання завдань для забезпечення індивідуального підходу. Системи на основі ШІ можуть аналізувати великі обсяги даних про навчання для прогнозування успішності учнів та розробки індивідуальних навчальних планів. Наприклад, вони можуть передбачити, які теми або підходи до навчання будуть більш ефективними для конкретного учня.

- Ефективність машинного навчання. Розвиток алгоритмів, які забезпечують вдосконалення адаптивності та точності систем індивідуалізованого навчання. Це включає розробку нейромережових систем та алгоритмів з використанням методів підсиленого навчання. Таким чином, алгоритми ШІ можуть підкреслити ті навички та можливості, в яких учень найбільш здібний та на основі цих даних підібрати завдання для поглиблення рівня компетентності в найбільш близькій для учня сфері.

- Платформи та технології дистанційного навчання. Розвиток платформ та технологій дистанційного навчання, які базуються на штучному інтелекті, включаючи системи адаптивного контенту, автоматизовані системи оцінювання та інструменти персоналізації навчального процесу.

Зрозуміло, що застосування штучного інтелекту в освіті розширює горизонти можливостей навчання, переносючи акцент зі стандартизованого підходу на індивідуальний розвиток. Зокрема, штучний інтелект може створити особливий контекст навчання для кожного учня, забезпечуючи індивідуальний підхід та зростання його успішності. Це дозволяє перетворити класичні методи навчання в інтерактивні та пристосовані до потреб кожного учасника освітнього процесу.

Розглянемо деякі приклади застосування штучного інтелекту в контексті освітніх платформ.

Khan Academy. Khan Academy використовує алгоритми ШІ для створення персоналізованих навчальних планів. Вони адаптуються до успішності учня у кожній темі, пропонуючи додаткові вправи або пояснення, якщо певна тема виявляється складною.

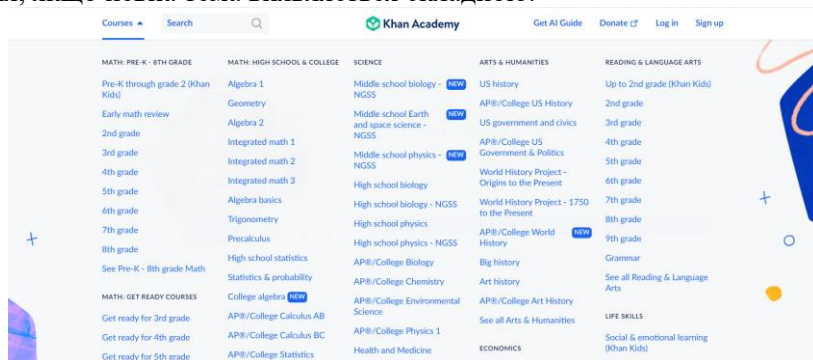


Рис. 1. Інтерфейс платформи «Khan Academy»

Мобільний додаток Duolingo використовує штучний інтелект для персоналізації процесу вивчення мов. Він адаптує рівень складності завдань та повторення матеріалу в залежності від успішності учня в кожному уроці.



Рис. 2. Інтерфейс додатку Duolingo

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

Coursera використовує ШІ для рекомендаційної системи, яка аналізує попередні курси та інтереси кожного користувача, щоб рекомендувати нові курси або матеріали..



Рис. 3. Інтерфейс платформи «Coursera»

Платформа DreamBox надає персоналізоване навчання математики для учнів. Вона використовує адаптивні алгоритми, щоб кожен учень міг вивчати матеріал у власному темпі та рівні складності.

Платформа IBM Watson Education використовує аналітичні можливості ШІ для прогнозування успішності та рекомендаційного аналізу. Вона допомагає вчителям та учням розуміти, як краще пристосувати навчання до потреб кожного учня.

Ці платформи використовують штучний інтелект для створення індивідуалізованих навчальних програм, які адаптуються до потреб кожного учня, роблять навчання більш ефективним та цікавим. Сфера застосування штучного інтелекту в галузі індивідуалізованого навчання досить велика. Він може аналізувати відповіді, виявляти помилки та запропонувати покращення для подальшого навчання; технології розпізнавання мови.

Крім того, штучний інтелект може використовуватися для розпізнавання мови учнів, що допомагає у вивченні мов або в розвитку навичок усного висловлення. Системи на основі ШІ можуть створювати індивідуалізовані навчальні програми для учнів з різними особливостями та потребами, надаючи адаптовані матеріали та підтримку.

Висновки і пропозиції. В сучасному освітньому контексті використання штучного інтелекту стає ключовим елементом для трансформації навчального процесу. Останні дослідження у галузі показують, що штучний інтелект має великий потенціал у персоналізації навчання, адаптації до індивідуальних потреб студентів та покращення якості освіти в цілому.

Дослідження, наведені в аналізі, підкреслюють можливості ШІ у створенні інноваційних підходів до навчання, одночасно вказуючи на важливі виклики, пов'язані з впровадженням цієї технології в освітню практику. Не менш важливим є і дослідницький інтерес в Україні до використання штучного інтелекту в освіті. Наукові ініціативи та дослідження, які проводяться в українських наукових установах, спрямовані на розуміння перспектив і викликів цієї новаторської області.

Штучний інтелект в освіті відкриває шлях до нових можливостей для створення більш ефективних та індивідуалізованих методів навчання, і дослідження в цій галузі продовжать бути ключовими для подальшого розвитку освітнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Доценко І. О. Актуальні проблеми впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у вищій освіті / І. О. Доценко // Гірничий вісник : науково-технічний збірник / м- во освіти і науки України, ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2017. – Вип. 102 – с. 117-120.
2. Чого не вистачає у Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. [Електронний ресурс] / В.Бахрушин / – Режим доступу до ресурсу: https://zn.ua/ukr/EDUCATION/shtuchniy-intelekt-i-osvita-350946_.html
3. Нові технології в онлайн-навчанні [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://recont.org/4-primera-ispolzovaniya-iskusstvennogointellekta-v-onlajn-obuchenii/>
4. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>

УДК 681.587.72

Б.П. Валецький

Луцький національний технічний університет

E-mail: b.valetsky@lntu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАНІПУЛЯТОРА

У статті розглядається дослідження маніпулятора для використання на стенді лабораторних досліджень. В результаті проведеного аналізу існуючих систем для навчання та дослідження окремих мехатронних пристроїв і різних варіантів промислових та логістичних систем поставлена задача створити стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем, який з мінімальними затратами дає можливість провести дослідження широкого кола задач, які можуть вирішувати мехатронні пристрої у складі логістичних систем.

Ключові слова: Маніпулятор, Arduino, кроковий двигун, ланка, захват

B.P. Valetskyi. Manipulator modeling and research

The article examines the study of a manipulator for use on a laboratory research bench. As a result of the analysis of existing systems for training and research of individual mechatronic devices and various options of industrial and logistics systems, the task was set to create a stand for the study of mechatronic devices of logistics systems, which with minimal costs makes it possible to conduct research on a wide range of problems that can be solved by mechatronic devices in the warehouse logistics systems.

Keywords: Manipulator, Arduino, stepper motor, link, gripper

Постановка проблеми. Розвиток робототехніки дозволяє покращити життєвий рівень. Сучасні транспортно-технологічні комплекси широко використовують обладнання на основі мехатронних пристроїв, таких як автоматичні системи переміщення, транспортні роботи, транспортні засоби з автоматичним керуванням, транспортно-розподільче обладнання, засоби ідентифікації та параметризації об'єктів, тощо. Сформовані на підприємствах виробничі комплекси за допомогою промислових роботів забезпечують виконання важкої і рутинної роботи. Для дослідження маніпуляторів на основі мехатронних пристроїв часто використовують стенди, які формуються з діючих макетів, та дозволяють створити моделі мехатронних систем з метою проведення навчання та дослідження таких систем.

Були розроблені завдання для дослідження як окремих вузлів, так і самих мехатронних пристроїв, а також засобів на їх основі. Зокрема задачею дослідження було визначення точності позиціонування механізму переміщення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми.

Існують різні підходи до створення таких стендів. Наприклад, фірма FESTO Didactic має стенди, що за своїми характеристиками подібні до промислового обладнання [1-2]. Фірма Fischertechnik виготовляє компактні технічні моделі-конструктори (Trainings modelle 3-D робот) на основі набору деталей, що дозволяють створити великий набір транспортно-розподільного обладнання, маніпуляторів та різних моделей виробничих ланок. Основним недоліком таких систем є значна вартість обладнання.

На даний момент є достатньо програмних засобів, які можна застосувати для проведення математичного моделювання роботи. Найпопулярнішими з них є Microsoft Robotics Developer Studio, RoboGuide, RobotStudio, ANVEL і т.д. Однак, застосування прикладної програми Matlab дає можливість, у поєднанні існуючого в ній Robotics Toolbox та засобів для розробки графічних інтерфейсів користувача, досліджувати кінематику, динаміку і траєкторію руху ланок маніпуляторів робота [5-6]. Він базується на загальному способі представлення кінематики і динаміки серійних маніпуляторів, ці параметри інкапсульовані в об'єктах MATLAB.

Основна частина. Будова. Промисловий робот (ПР) – автоматична машина, що складається із виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора (має кілька ступенів рухомості) та пристрою програмного керування для виконання у виробничому процесі рушійних і керуючих функцій. А маніпулятор – це керований пристрій (або машина) для виконання рушійних функцій (аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів у просторі), оснащений робочим органом.

Маніпулятор робота являє собою багатоланковий механізм із ступенем рухомості від 3-х до 9-ти з поступальними чи обертальними зчленуваннями, що закінчується робочим органом у вигляді захоплювача.

Пристрій пересування робота може бути виготовлений із застосуванням одного з відомих способів пересування, починаючи від кочення і закінчуючи крокуванням.

До складу ПР входять: пульт керування (ПК), за допомогою якого оператор здійснює введення і контроль завдання; запам'ятовуючий пристрій (ЗП), у якому зберігаються програми роботи та необхідна інформація; обчислювальний пристрій (ОП), у якому реалізується алгоритм керування роботом; блок керування приводами (БКП) маніпулятора і пристрою пересування (ПП).

Відповідно РТК бувають: – однопозиційні, що включають один ПР у комплексі з технологічним обладнанням, рис. 1а, 1б; – групові, що включають один ПР, який обслуговує групу однотипного чи різнотипного технологічного обладнання, рис. 1в, 1г; – багатопозиційні, що включають групу ПР, які виконують взаємозалежні чи взаємодоповнюючі функції, рис. 1д, 1е.

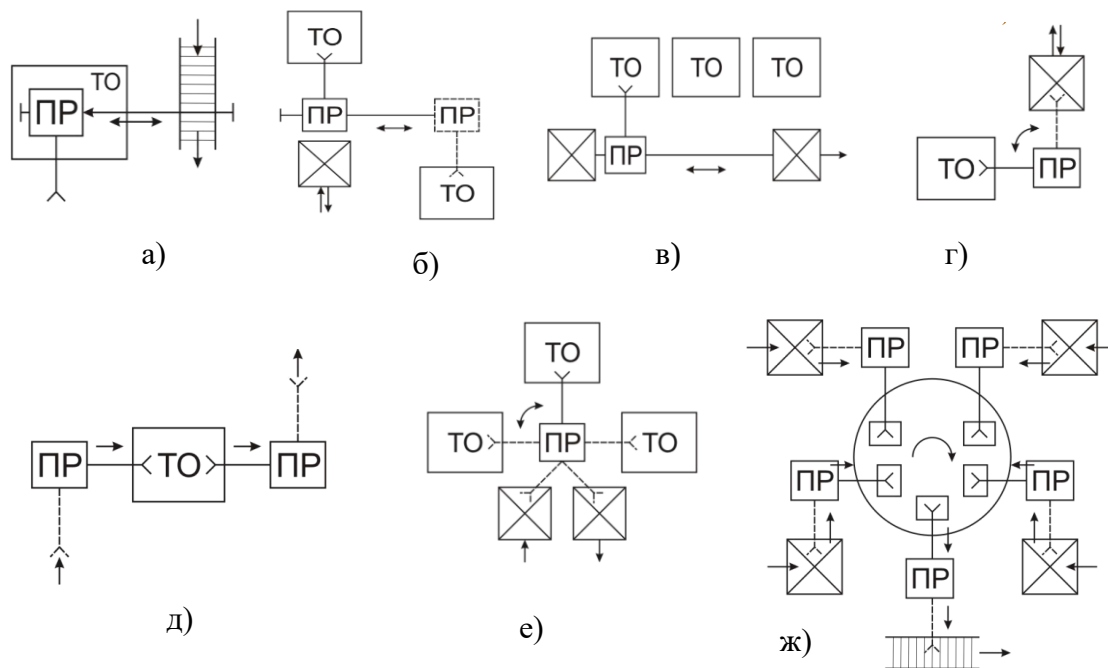


Рисунок 1 – Типи компонувань комплексів: РТК₁ (а), РТК₂ (б, в), РТК₃ (г), РТК₄, РТК₅ (д), РТК₆ (е, ж)

У компонуванні РТК передбачено шість основних схем:

РТК₁ – включає комплекси, характерні лінійними розташуваннями ТО і ДО. Даний тип компонування комплексів створюється на базі ПР, що працюють у плоскій прямокутній системі координат. Він застосовується в основному в механопереробному виробництві для однопозиційних комплексів «верстат-робот».

РТК₂ – характеризується лінійно-рівнобіжним розташуванням ТО і ДО. Створюється на базі ПР тельферного типу з плечолітьовою конструкцією маніпулятора.

РТК₃ – включає комплекси, створені на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат з горизонтальною віссю обертання. Застосовуються у механічній обробці і ковальсько-пресовому виробництві при однопозиційній структурі комплексів. Мають лінійно-рівнобіжну схему розташування обладнання.

РТК₄ – створюється на базі ПР, що працюють у циліндричній системі координат, характеризується коловим розташуванням ТО і ДО.

РТК₅ – створюється на базі ПР, що працюють у сферичній системі координат. У дану групу входять ПР, що мають широкі функціональні можливості (до шести ступенів рухомості). Комплекси використовуються у найбільш складних умовах – при груповому обслуговуванні різнотипного (за схемою завантаження) обладнання для механічної обробки, а так само при виконанні фарбувальних та інших робіт. Схема розташування обладнання дворядна лінійно-рівнобіжна або колова.

РТК₆ – створюється для багатопозиційних комплексів, характерних для ливарного, складального і частково ковальсько-пресового виробництва. Застосовується змішана схема розташування обладнання.

ПР містить дві органічно зв'язані частини: керуючий пристрій та механічну систему (маніпулятор). Механічна система ПР забезпечує виконання рушійних функцій і реалізацію технологічного призначення ПР. Механічна система чи маніпулятор являє собою просторовий механізм із розімкнутим кінематичним ланцюгом. Маніпулятор складається з таких основних вузлів: – несучих конструкцій; – приводів; – передавальних механізмів; – виконавчих механізмів (ВМ); – захоплювача (захоплюючого пристрою).

Механіка та кінематика. Перед розробкою тривимірної моделі конструкції маніпулятора необхідно розробити його структурну кінематичну схему (рис. 2). Було вирішено розробити маніпулятор ангулярного типу, тому обертальні кінематичні пари найбільш прості в конструкції і легко реалізовані, також така конструкція має досить велику робочу зону і своєю гнучкістю дозволяє обходити деякі перешкоди. Щоб захватний пристрій захоплював об'єкти правильно, він повинен бути спрямований в певній орієнтації, для цього в кінематичну схему доданий спеціальний механізм для утримання захватного пристрою в незмінній орієнтації.

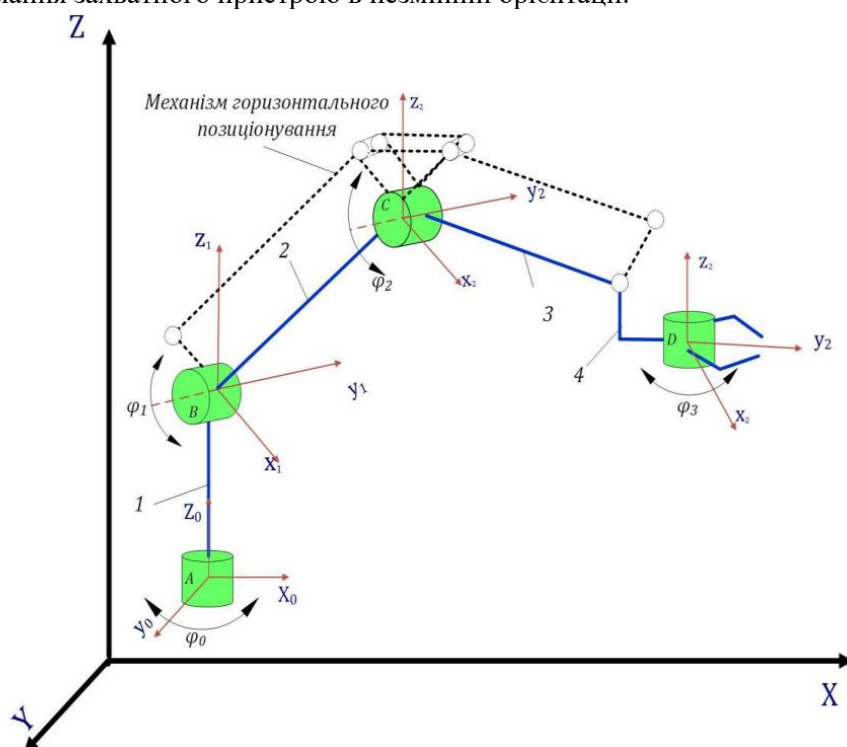


Рисунок 2 – Структурно - кінематична схема ангулярного маніпулятора:

1 – основа; 2 – плече; 3 – передпліччя; 4 – кисть; XYZ – базова система координат;
 $x_i y_i z_i$ – локальні системи відліку; φ_i – кутова координата положення i -ї ланки в системі $x_i y_i z_i$
 (поворот i -ї ланки відносно $(i-1)$).

Для виконання кінематичного дослідження можна використати спрощену кінематичну схему (рис. 3), адже робот здійснює плоскопаралельне переміщення захватного пристрою

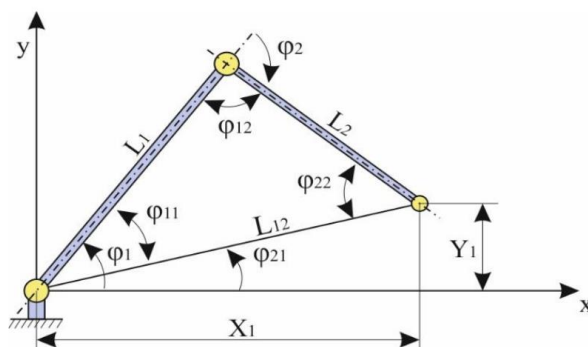


Рисунок 3 – Спрощена кінематична схема маніпулятора

Маніпулятор має дві ланки L_1 та L_2 , а також дві кінематичні пари обертового типу, що здатні працювати в одній площині.

Переміщення кінематичних пар здійснюється шляхом повороту на кути φ_1 та φ_2 . Переміщення у тривимірному просторі здійснюється за рахунок обертання маніпулятора на кут φ_3 відносно осі u , тому розглянемо переміщення маніпулятора в одній площині: перша ланка L_1 закріплена на основі і обертається на кут φ_1 ; друга ланка L_2 , кріпиться на кінці першої ланки і обертається щодо неї на кут φ_2 ; робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці другої ланки. Треба знайти такі кути φ_1 і φ_2 , які дозволять маніпулятору із ланками L_1 і L_2 перемістити руку в задану точку (x, y) , що можна зробити за допомогою зворотної задачі кінематики.

Оскільки: $L_{12}^2 = x^2 + y^2$, $\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{21}$, та використовуючи теорему косинусів, можна знайти:

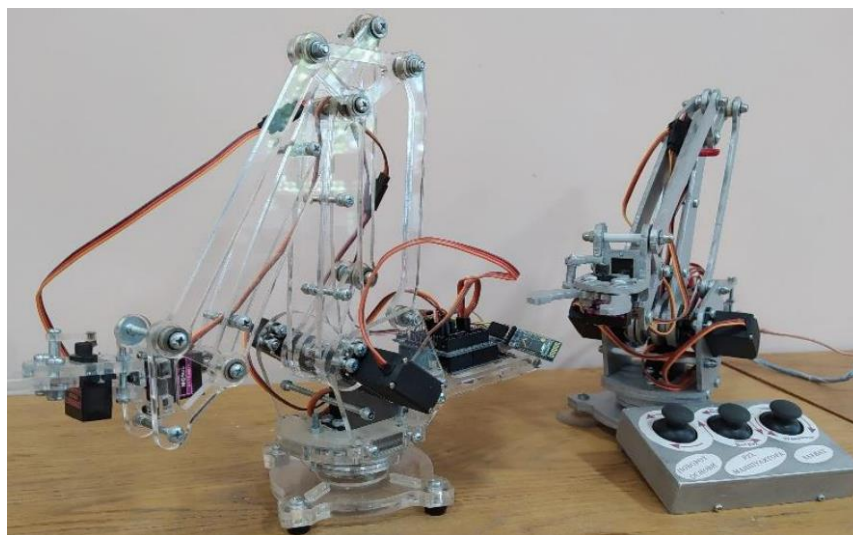
$$\varphi_1 = \arccos(x / L_{12}) + \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / (2 \cdot L_{12} \cdot L_1)),$$

$$\text{та } \varphi_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / (2 \cdot L_{12} \cdot L_2)).$$

Шляхом повороту кінематичних пар згідно отриманих значень φ_1 і φ_2 здійснимо переміщення робочого органу в точку (x, y) .

Використовуючи дану модель можна провести дослідження точності позиціонування робочого органу маніпулятора, що полягає у відхиленні фактичного положення від заданого позиціонування, та визначається параметрами механічної частини маніпулятора та приводів.

Для переміщення об'єктів використовується аналог маніпулятора uArm [3]. На рис. 4 наведений зовнішній вигляд маніпулятора з безпроводним керуванням (а) маніпулятора з ручним керуванням (б).



а) б)

Рисунок 4 – Маніпулятор uArm

Для переміщення кінематичних пар використовуються сервоприводи MG-995 та MG90S, що забезпечують поворот валу від 0 до 180°.

Розробка програмно – апаратного забезпечення. Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора uArm, контролера Arduino UNO R3, та пульта керування в ручному режимі у вигляді 3 потенціометрів, що здійснюють відповідне переміщення сервоприводів, або через модуль безпроводного зв'язку HC-05. Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino UNO наведена на рис. 5.

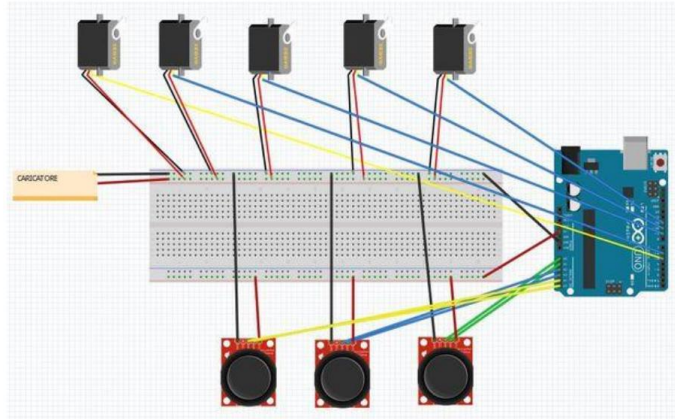


Рисунок 5 – Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino UNO

Прикладом використання C++ для програмування мобільних роботів є апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання Arduino. Плата контролера Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, а також додаткових елементів для програмування та інтеграції з іншими пристроями.

Плати програмуються через USB за допомогою персонального комп'ютера. Плати Arduino мають значну кількість I/O виводів для підключення зовнішніх пристроїв. Наприклад, у плат Мікро та Uno (рис. 6) є 14 цифрових входів/виходів, 6 із яких можуть видавати НІМ сигнал, і 6 аналогових входів.

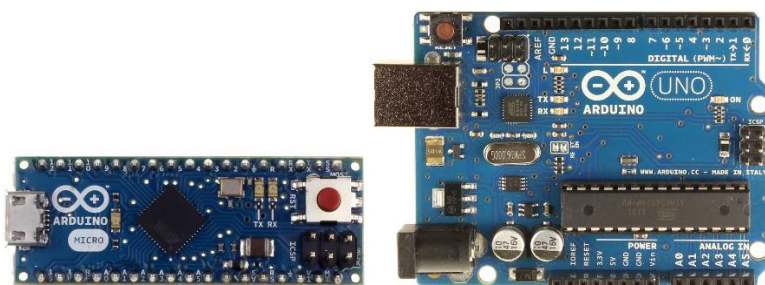


Рисунок 6 – Плати Arduino Micro (а) та Arduino Uno (б)

Arduino і Arduino -сумісні плати спроектовані таким чином, щоб їх можна було при необхідності розширювати, додаючи в пристрій нові компоненти. Ці плати розширень підключаються до Arduino за допомогою встановлених на них штирових з'єднувачів. Існує ряд уніфікованих плат, що допускає конструктивно жорстке з'єднання процесорної плати та плат розширення в стопку через штирові лінійки. Крім того, випускаються плати зі зменшеними (наприклад, Nano, Lilypad) і спеціальними (для задач робототехніки) конструктивними розмірами.

Сторонніми виробниками випускається велика гамма різних датчиків і виконавчих пристроїв сумісних між собою та з процесорними платами Arduino.

Програми для контролерів Arduino в основному пишуться на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм, яка містить багато стандартних операцій і значно спрощує процес програмування.

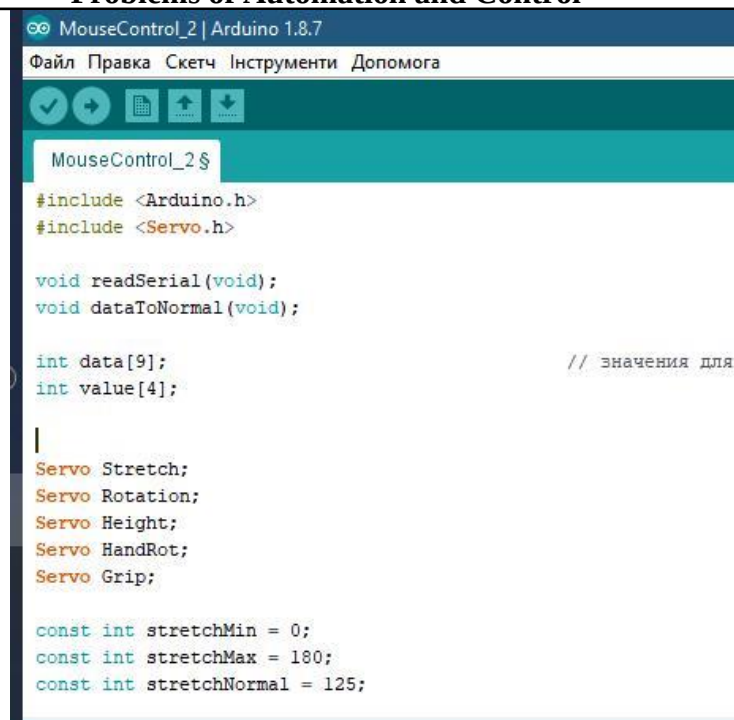


Рисунок 7 – Частина програмного коду

Базова структура програми для Arduino досить проста і полягає, щонайменше, з двох частин. У цих двох обов'язкових частинах, або функціях, виконується укладений код.

Комп'ютерна програма є спеціалізованим програмним забезпеченням та призначена для джойстикowego керування серводвигунами. Апаратна частина ангулярного маніпулятора створений на базі плати мікроконтролерів з відкритим кодом Arduino UNO. Для управління серводвигунами застосовується передача інформації у вигляді сигналів, які генеруються джойстиками. Формування імпульсів відбувається при виконанні протоколів якими керується джойстиками. При підключенні ArduinoUnoR3 до джерела живлення, в ній тут же запускається програма і посилає сигнали на серводвигуни, щоб вони повернулися в початкове положення. Далі програма починає чекати команди, що надходять від пульта керування.

Програма представлена у вигляді окремих файлів і папок, що містить вихідний код відтворений на мові програмування Arduino (базується на об'єктно-орієнтованій мові C++ із доповненням деяких специфічних бібліотек)

Бібліотека Servo.h Arduino дозволяє використовувати до 8 сервоприводів, встановлювати швидкість переміщення. Наявність ручного (джойстик або ПК) керування дозволяє зробити дослідження різних режимів роботи, оскільки при керуванні положення окремих кінематичних пар (кут повороту) можна вивести на екран комп'ютера, або запам'ятати з метою подальшого програмування переміщення маніпулятора за послідовністю положень.

Висновки. Проведено аналіз конструктивних особливостей маніпуляторів було виявлено основні переваги та недоліки типових схем їх виконання, та встановлено, що найбільш доцільним варіантом для використання у вантажопереробці на підприємствах є роботи маніпулятори, що працюють в ангулярній системі координатних переміщень.

В результаті проведеного аналізу існуючих систем для навчання та дослідження окремих мехатронних пристроїв і різних варіантів промислових та логістичних систем поставлена задача створити стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем, який з мінімальними затратами дає можливість провести дослідження широкого кола задач, які можуть вирішувати мехатронні пристрої у складі логістичних систем. Стенд на основі даного модуля дозволить здійснити дослідження алгоритмів керування мехатронними пристроями з метою визначення оптимальних режимів роботи, наприклад, вибору прискорення та швидкості переміщення різних вантажів, а також алгоритмів взаємозв'язку різних мехатронних пристроїв у складі транспортно-технологічних систем, включаючи транспортно-розподільні та складські системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mechatronik und Fabrikautomation. Lernsysteme und Services für die Aus- und Weiterbildung. 56811 de © 2017-04 Festo Didactic SE. URL: https://www.festo-didactic.com/didactic/Demos/PG_FactoryAutomation_de/files/assets/common/downloads/publication.pdf (дата звернення: 04.05.2022).
2. Learning Systems for Industry 4.0 CP Lab 400 Complete Systems. FESTO. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/cp_lab_400_en.pdf (дата звернення: 25.11.2023).
3. <https://www.ufactory.cc/xarm-collaborative-robot> (дата звернення: 25.11.2023).
4. Arduino library for servos that extends the standard servo.hlibrary with the ability to set speed, and wait for position to complete. URL: <https://github.com/netlabtoolkit/VarSpeedServo> (дата звернення: 25.11.2023).
- 5 Robotics Toolbox 9.10 for MATLAB / Peter Corke, 2015. 317 с. <https://www.petercorke.com/RTB/robot.pdf> (дата звернення: 25.11.2023).
6. Валецький Б.П. Дослідження мехатронних пристроїв транспортно-технологічних систем/ Валецький Б.П.// Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів» (28-30 травня 2022 р.) – Луцьк, ЛНТУ, 2022. с.40-44

УДК 004.94: 628.9

С.В. Лавренчук, А.В. Артемук

Луцький національний технічний університет

E-mail: s.lavrenchuk@lntu.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ІОТ-ПРИСТРОЇВ

Розглянуто варіант застосування розумних пристроїв для оптимізації вуличного освітлення з точки зору економії електроенергії та комфорту. Досліджено способи оптимізації вуличного освітлення, здійснено їх аналіз та порівняння. Розроблено систему моніторингу та управління освітленням з веб-інтерфейсом на основі React.js, Python та Django. Створено модель системи освітлення, яка дає змогу не лише досліджувати систему освітлення, збираючи дані з датчиків, але й керувати нею. Надано рекомендації щодо оптимального регулювання вуличного освітлення із використанням ІоТ технологій.

Ключові слова: ІоТ, вуличне освітлення, оптимізація, ІоТ-пристрої, система моніторингу, алгоритми розрахунку освітленості.

Lavrenchuk S.V., Artemuk A.V. Optimization of street lighting system based on iot devices.

The option of using smart devices to optimize street lighting from the point of view of energy savings and comfort is considered. Methods for optimizing street lighting have been studied, analyzed and compared. Developed a lighting monitoring and control system with a web interface based on React.js, Python and Django. A model of the lighting system has been created, which allows not only to study the lighting system by collecting data from sensors, but also to control it. Recommendations are given for the optimal regulation of street lighting using IoT technologies.

Keywords: IoT, automatic lighting, optimization, IoT devices, monitoring system, light distribution algorithms.

Постановка проблеми та аналіз досліджень.

Зі зростанням технологічних можливостей та розвитком концепції «розумного міста», ефективне управління вуличним освітленням стає критично важливим завданням. Використання систем Інтернету речей (ІоТ) в освітленні має потенціал вирішити проблему неефективного використання електроенергії, що часто спостерігається у традиційних системах освітлення.

Інтеграція ІоТ дозволяє створювати «розумні» системи освітлення, які адаптуються до зовнішніх умов та реагують на реальні потреби. Сенсори руху, оптичні сенсори та інші пристрої ІоТ можуть автоматично регулювати яскравість світла відповідно до рівня освітленості та виявленої присутності людей. Це дозволяє ефективно використовувати електроенергію, уникати зайвого освітлення та сприяти створенню стійких та екологічно чистих систем освітлення.

Використання IoT в системах освітлення також забезпечує накопичення значного обсягу даних, які можуть бути використані для аналізу та оптимізації ефективності освітлення. Це допоможе виявити тенденції у споживанні електроенергії, ідентифікувати періоди найвищого навантаження та надати детальну інформацію про використання енергії.

Крім того, впровадження IoT може покращити систему моніторингу та обслуговування. Віддалене керування та діагностика дозволяють вчасно виявляти проблеми та усувати їх, попереджаючи можливі відмови та забезпечуючи стабільну та продуктивну роботу системи.

Метою даної роботи є дослідження способів оптимізації систем вуличного освітлення на основі IoT-пристроїв.

Розглянуто наступні способи оптимізації: оптимізація із використанням зелених технологій [1], SMSLS [2], LDR та IR сенсори [3].

Автори роботи [1] вважають, що використання зелених технологій позитивно впливає на енергонезалежність системи вуличного освітлення. Однак система має недолік у випадках тривалої відсутності сонця, оскільки вона залежить від сонячних батарей.

Використання системи керування вуличним освітленням (Smart Management System, SMSLS) [2] дозволяє за допомогою датчиків руху вмикати світло перед автомобілем, або пішоходом, що проїжджає повз, і вимикати їх, коли руху немає, економлячи електроенергію. Ці системи мають проблему із точністю в несприятливу погоду, наприклад під час дощу, або снігу.

Дослідницька робота [3] пропонує встановлення датчиків LDR, які визначають інтенсивність природного освітлення та визначають, чи вмикати лампи, тоді як ПЧ-датчик визначає присутність будь-якого рухомого об'єкта та контролює освітлення ламп. Звісно, щоб моніторити рівень природного освітлення, датчики повинні постійно працювати та перевіряти стан навколишнього середовища, що може позначитися на підвищеному електроспоживанні, або у випадках його поломки, призвести до непередбачуваних наслідків.

Питаннями оптимізації використання енергії на основі IoT-пристроїв в наш час цікавлять багато українських [4, 5] та закордонних вчених [6-8], що також свідчить про актуальність даної теми дослідження.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.

Для оптимізації системи вуличного освітлення на основі IoT-пристроїв створено систему моніторингу, за допомогою якої можна проводити збір даних, передавати інформацію про стан ламп та ефективно управляти освітленням через веб-інтерфейс.

Для створення backend та обробки інформації в проєкті використано технологію Django. Лампи, які діють як IoT-пристрої, взаємодіють з backend за допомогою Flask, забезпечуючи передачу інформації. Django виступає як backend-частина системи, обробляючи запити від ламп та забезпечуючи логіку та правильну взаємодію з ними.

React.js використовується для створення інтерфейсу веб-сайту, де відображається інформація про стан ламп, статистику використання та інші дані, отримані від IoT-пристроїв через backend. За допомогою React можна динамічно відображати отриману інформацію, що дозволяє користувачам зручно спостерігати за станом та використанням ламп через веб-інтерфейс (рисунок 1).



Рисунок 1 – Веб-інтерфейс системи моніторингу та управління освітленням

Оператор, який спостерігає за станом всієї системи має можливість виділяти, або перерозподіляти електроенергію як в ручному, так і в автоматичному режимі. Для автоматичного режиму потрібно розробити алгоритм, який виходячи із заданих параметрів та стану ламп буде розподіляти електричну енергію між всіма лампами (рисунок 2), таким чином намагаючись освітити всю вулицю рівномірно. Тут `power_supply` – поточне споживання енергії, `power_lack` – скільки енергії не вистачає для 100% живлення лампи.

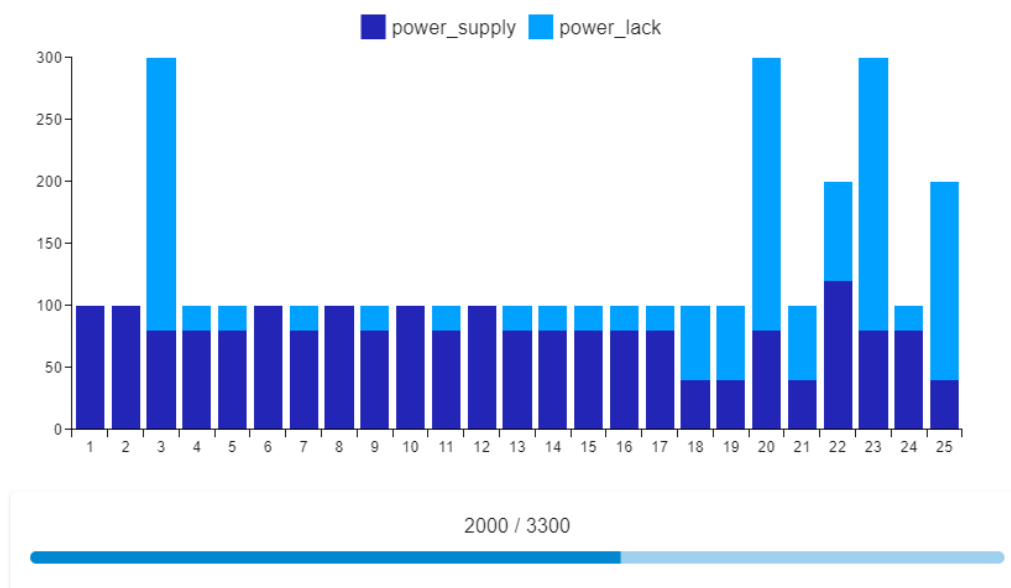


Рисунок 2– Графік розподілу електроенергії

Щоб оптимізувати час, який необхідний для оновлення інформації про стан ламп, використано бібліотеку threading. Вона дозволяє виконувати запити на лампи не послідовно, а паралельно.

Щоб переконатися в перевагах та доцільності паралельної обробки інформації, проведено тести з різною кількістю ламп і скомпільовано таблицю (таблиця 1), де відображено час, витрачений на обробку інформації при різних кількостях ламп.

Таблиця 1

Час оновлення інформації						
Кількість ламп, шт.	1	5	10	20	50	100
Час, необхідний для оновлення інформації при послідовних запитах, с	0.11 – 2.33	0.62 – 11.5	1.28 – 22.92	2.56 – 40.78	6.4 – 112.1	12.8 – 221,7
Час, необхідний для оновлення інформації при паралельних запитах, с	0.12 – 2.3	0.12 – 2.34	0.15 – 2.3	0.16 – 2.35	0.17 – 2.3	0.16 – 2.38

Для оптимізації розподілення світла використано рекурсивний метод заповнення простору типу «діамант» (рисунок 3), адже він є одним із найефективніших і дозволяє раціонально використовувати ресурси, забезпечуючи оптимальну якість вуличного освітлення.

Т	13	12	11	10	9	8	9	10	11	12	13	Т
13	12	11	10	9	8	9	8	9	10	11	12	13
12	11	10	9	8	9	10	9	8	9	10	11	12
11	10	9	8	9	10	11	10	9	8	9	10	11
10	9	8	9	10	11	12	11	10	9	8	9	10
9	8	9	10	11	12	13	12	11	10	9	8	9
8	9	10	11	12	13	Т	13	12	11	10	9	8

Рисунок 3 – Приклад розповсюдження світла

Для оптимізації використання електроенергії впроваджено систему перекриття, яка дозволить автоматично знаходити та вимикати лампи, які освітлюють одну і ту ж саму територію (рисунок 4).

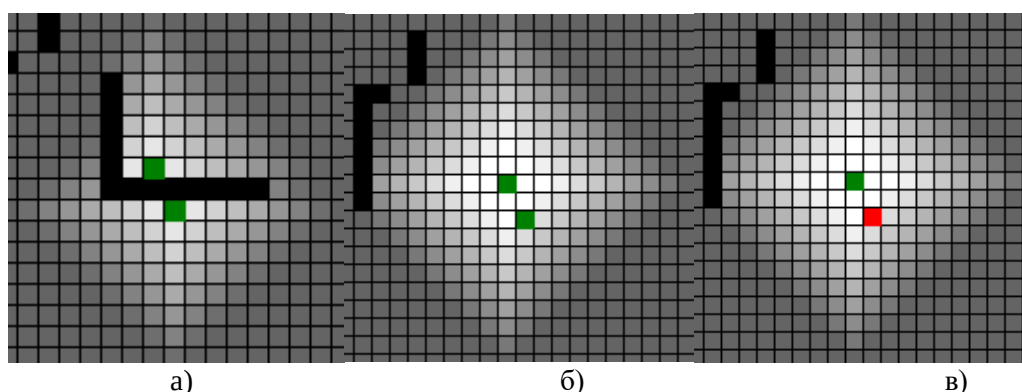


Рисунок 4 – Приклад вимкнення ламп, які освітлюють одну і ту ж саму територію: а) Лампи освітлюють різну територію; б) Лампи освітлюють одні і ту саму територію в) Одна із ламп вимикається для економії електроенергії

При виконанні усіх поставлених завдань щодо оптимізації, система зможе рівномірно освітлювати територію практично при будь-якій кількості виділеної електроенергії.

Висновки.

Розглянуто створення веб-сайту для моніторингу вуличного освітлення. Проведено аналіз різних методів оптимізації системи вуличного освітлення, заснованих на використанні IoT-пристроїв, і виконано їх порівняння та аналіз. Надано конкретні рекомендації щодо оптимізації систем освітлення, включаючи розробку алгоритму для ефективного розподілу електроенергії та впровадження системи вимкнення неефективних ламп для заощадження виділеної енергії.

Дослідження виконано з використанням мови програмування Python. Розроблено систему, придатну для практичного використання в системах освітлення. Вона дозволяє ефективно впроваджувати запропоновані методи оптимізації в реальних умовах та покращувати ефективність вуличного освітлення на практиці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Md Milon Uddin; Joshua Stapp; Matthew Vechione; Prabha Sundaravadivel «iMOST: An IoT Framework for Energy Efficient Street Lights» in 2022 IEEE 8th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Publication Year: 2022, Page(s):1 – 2.
2. Veeraswamy Ammisetty; Vs Sudhakar Rao Ande; Rudrakshala Leela Phani Kumar; Mikkili Baburao «Novel Feature Model IoT based Street Light System for Energy Conversation» in 2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Publication Year: 2023,Page(s):1605 – 1610.
3. Kaushalya Thopate; Shivam More; Komal Thakare; Rohan Waware; Janhavi Gangurde; Aarati Ghuge «Smart Street Light Monitoring System for Enhanced Energy Efficiency» in 2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), Publication Year: 2023,Page(s):1798 – 1805.
4. Сапожник, Д.О. і Плечистий, Д.Д. 2023. Використання інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 4 (Серп. 2023), 39–45. DOI:<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45>.
5. Zhukovskiy Y., et al. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2019. p. 062033.
6. Moura Pedro, et al. IoT platform for energy sustainability in university campuses. *Sensors*, 2021, 21.2: 357.
7. García-Monge Miguel, et al. Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 2023, 285: 112882.
8. Humayun Mamoon, Alsaqer Mohammed Saleh, Jhanjhi, Nz. Energy optimization for smart cities using iot. *Applied Artificial Intelligence*, 2022, 36.1: 2037255.

УДК 535.343.1

Ю.С. Лапченко, Ю.С. Гуржієнко

Луцький національний технічний університет
y.lapchenko@lntu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ СИГНАЛУ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА В ОДНОВИМІРНОМУ ФОТОННОМУ КРИСТАЛІ НА ОСНОВІ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

В роботі було продемонстровано ефект посилення стоксової компоненти комбінаційного розсіювання світла (КРС) структур одновимірного фотонного кристала на основі пористого кремнію. Як було зазначено ефекти локального поля, що виникають у структурах одновимірного фотонного кристала, заснованих на пористому кремнії, впливають на їх оптичні властивості. Оскільки локальна інтенсивність КРС пропорційна інтенсивності поля збуджуючого випромінювання, очікується, що поведінка зазначеного оптичного відгуку виявлятиме особливості, пов'язані зі структурними характеристиками зразків. Було проведено теоретичне дослідження інтенсивності сигналу КРС від структур одновимірного фотонного кристала з метою детального пояснення ефекту посилення КРС на краю фотонної забороненої зони.

Ключові слова: випромінювання, диполь, фотонний кристал, пористий кремній, фотонна зона, стоксова компонента.

Y. Lapchenko Y. Hurzhiienko. Simulation of signal amplification of combined light scattering in a one-dimensional photonic crystal based on porous silicon. The paper demonstrated the effect of enhancing the Stokes component of the Raman light scattering (RAM) of the structures of a one-dimensional photonic crystal based on porous silicon. As mentioned, the effects of the local field arising in the structures of a one-dimensional photonic crystal based on porous silicon affect their optical properties. Since the local Raman intensity is proportional to the field intensity of the excitation radiation, it is expected that the behavior of the specified optical response will reveal features related to the structural characteristics of the samples. A theoretical study of the intensity of the Raman signal from the structures of a one-dimensional photonic crystal was carried out in order to explain in detail the effect of Raman amplification at the edge of the photonic band gap.

Key words: radiation, dipole, photonic crystal, porous silicon, photonic zone, stokes component.

Постановка проблеми. Метод розрахунку інтенсивності компонент КРС включає в себе використання двох моделей. Першою моделлю є наближення ефективного середовища, яке дозволяє розглядати шари пористого кремнію як шари однорідної речовини, що характеризується деяким ефективним показником заломлення. Оскільки пористий кремній проявляє властивість анізотропії форми, то ефективний показник заломлення залежить від кута поширення світла.

Другою моделлю, що дозволяє розраховувати інтенсивність КРС, є модель осцилюючих електричних диполів. У застосуванні до розрахунку величини сигналу КРС використання цієї моделі означає розгляд ансамблю розсіювачів системою хаотично орієнтованих осцилюючих електричних диполів. Амплітуда осциляції диполя пропорційна амплітуді коливань електричного поля збуджуючого випромінювання в точці знаходження диполя. Інтенсивність КРС зразка апроксимується інтенсивністю емісії електричних диполів, що вийшла зі зразка. Випромінювальні диполі розташовані на площинах, рівномірно розподілених по кожному шару. Число шарів у кожному шарі пропорційно товщині цього шару. Випромінювання осцилюючих електричних диполів апроксимується плоскими хвилями. Розповсюдження плоскої хвилі випромінювання накачування, а також плоскої хвилі випромінювання диполів по шаруватій структурі моделюється методом матриці перенесення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. К роботі [1] представлено кутові залежності інтенсивності стоксової компоненти КРС у досліджуваних багат шарових структурах. Інтенсивності розсіювання були нормовані по відношенню до вимірюваних для однорідних шарів пористого кремнію при тих же кутах падіння. Максимум інтенсивності сигналу КРС спостерігається при певних кутах падіння, які відповідають попаданню частоти стоксової компоненти на край забороненої фотонної зони. У роботі [2] ефект, що спостерігається, пояснюється збільшенням ефективного часу взаємодії між речовиною і структурою порівняно з однорідною плівкою пористого кремнію або просто кремнієвою підкладкою. Цікаво відзначити, що кутові залежності інтенсивності КРС для зразків NPS-1 і NPS-2 демонструють ширші максимуми порівняно з PPS-1 [3]. Цей факт можна пояснити ефектом виникнення Фабрі-Перо осциляції на краю фотонної забороненої зони.

Мета роботи. Теоретично дослідити інтенсивності сигналу КРС від структур одновимірного фотонного кристалу з метою детального пояснення ефекту, що спостерігається посилення КРС на краю фотонної забороненої зони.

Викладення основного матеріалу. При розрахунку враховується, що частота розсіяного випромінювання зсунута по відношенню до частоти збуджуючого випромінювання на 520 см^{-1} у бік менших хвильових чисел. Величина зсуву 520 см^{-1} відповідає максимальній частоті оптичного фону в кристалічному кремнії. Всі розрахунки були зроблені для зразка, утвореним чергуванням шарів пористого кремнію з ефективними показниками заломлення $n_1=2,36$ і $n_2=1,91$. Загальна кількість шарів у зразку становила 40 пар. Цей зразок відповідає структурі NPS-2 (рис. 1).

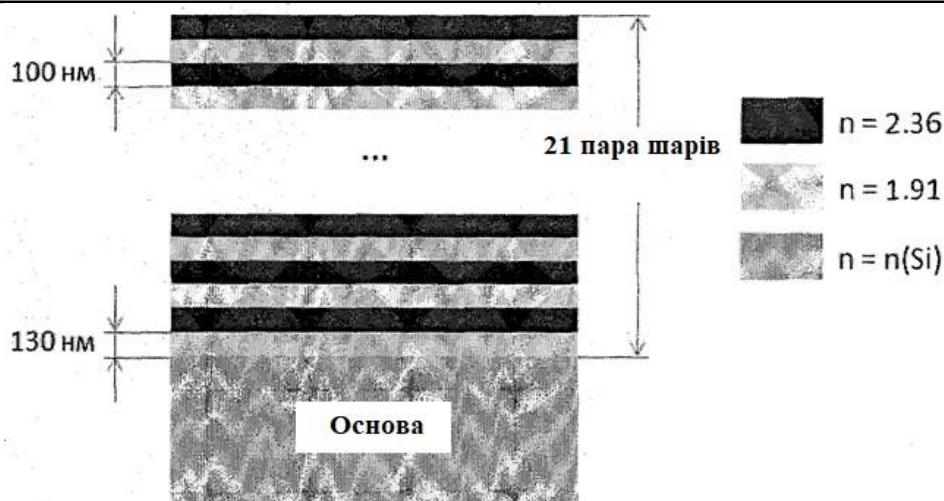


Рисунок 1 – Модельна структура одновимірного фотонного кристала на основі пористого кремнію. Шари пористого кремнію, позначені синім і рожевим кольорами, розглядаються як однорідні шари із зазначеними ефективними показниками заломлення.

На рисунку 2 наведено результати розрахунку інтенсивностей стокової компоненти КРС модельної структури та однорідної структури з товщиною, що дорівнює товщині модельної структури та показником заломлення $n=2,36$, як функцій хвильового числа збуджуючого випромінювання.

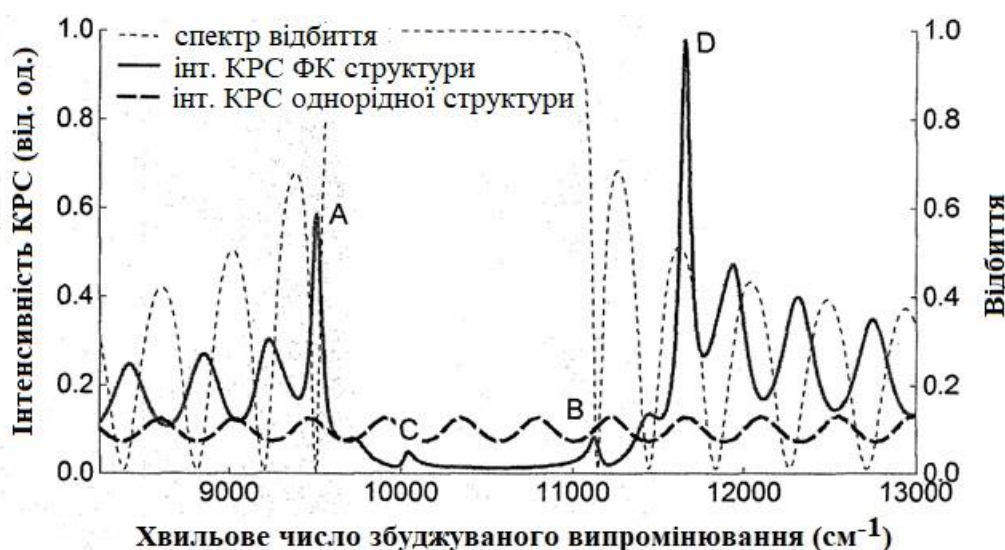


Рисунок 2 – Інтенсивності стокової компоненти КРС модельної структури, зображеної на рисунку 1 (суцільна лінія) та однорідної структури з товщиною іншої рівної товщині модельної структури і показником заломлення $n=2,36$ (штрихова лінія) як функції хвильового числа збуджуючого випромінювання. Спектр відображення модельної структури наведено пунктирною лінією.

Спектр відображення наведений на рисунку 2 містить у собі фотонну заборонену зону в діапазоні $9700-11000 \text{ cm}^{-1}$. Видно, що інтенсивність стокової компоненти однорідної структури є періодичною функцією з максимальним значенням 0,13 від. од. Зазначена періодичність обумовлена виникненням резонансів Фабрі-Перо при проходженні збудливого та розсіяного випромінювань по однорідній структурі. Функція інтенсивності КРС для фотонно-кристалічної структури не є періодичною, а має локальні максимуми А і D на 9500 cm^{-1} і 11700 cm^{-1} , зі значеннями в них 0,59 від. од та 1,0 від. од. відповідно. Значне збільшення інтенсивності стокової компоненти КРС фотонно-кристалічної структури на зазначених хвильових числах в періодичній структурі в порівнянні з однорідною і є ефектом посилення сигналу КРС. У той же час, у спектрі сигналу КРС від періодичної структури присутні максимуми В і С, на 11150 cm^{-1} і 10020 cm^{-1} один з яких лежить на краю фотонної забороненої зони, а інший - всередині неї. Для визначення причин виникнення

описаного вище ефекту і природи локальних максимумів А - D були розраховані функція ефективності збудження, що дорівнює середньому значенню квадрата амплітуди електричного поля збуджуючого випромінювання, і функція виходу розсіяного випромінювання, що являє собою інтенсивність ВРХ для спеціального коли амплітуда коливань електричних диполів залежить від локального поля збуджуючого випромінювання. Результати розрахунків наведено на рисунку 3.

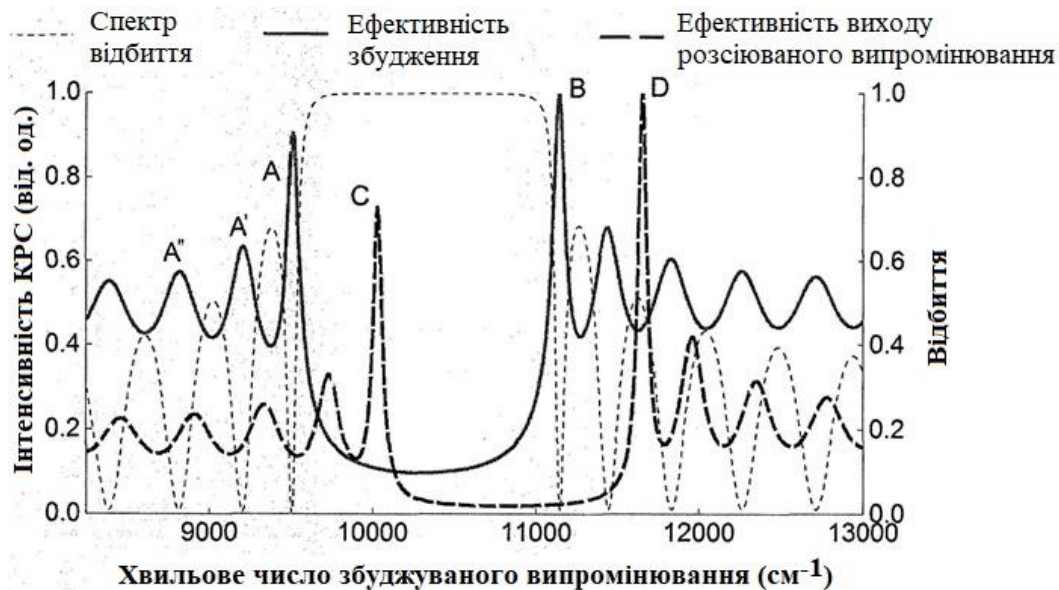


Рисунок 3 – Червона лінія: розраховане середнє значення за модельним зразком квадрата амплітуди сили електричного поля збуджуючого світла (функція ефективності збудження). Синя лінія: розрахована інтенсивність КРС модельної структури для випадку, коли амплітуда коливань електричних диполів не залежить від сили збуджуючого електричного поля (функція виходу розсіяного випромінювання). Пунктирна лінія: діапазон відображення модельної структури

Максимуми функції ефективності збудження відповідають мінімумам спектра відображення і навпаки. Тепер зрозуміло, що локальні максимуми А і В, розташовані на краях забороненої фотонної зони, виникають внаслідок резонансного проникнення збудливого поля вглиб структури. Функція виходу розсіяного випромінювання зміщена в порівнянні зі спектром відображення на 520 см^{-1} у бік великих хвильових чисел. Локальні максимуми С і D обумовлені резонансним виходом розсіяного випромінювання з структури. по відношенню до фотонної забороненої зони дозволяє пояснити особливості залежності інтенсивності стоксової компоненти сигналу КРС від хвильового числа випромінювання накачування (рис. 2). Дійсно, в т. в збуджуюче випромінювання резонансно проникає в структуру, і інтенсивність розсіяного світла велика. Однак через те, частота стоксової компоненти на 520 см^{-1} менше частоти хвилі, що збуджує, хвильовий вектор розсіяного випромінювання попадає у фотонну заборонену зону. Отже, розсіяне випромінювання не виноситься назовні, а поглинається у підкладці. Цим пояснюється мала амплітуда максимуму на залежності стоксової компоненти сигналу КРС від хвильового числа збудження. В т. С ситуація інша: при збудженні світлом з хвильовим числом 10020 см^{-1} розсіяне випромінювання резонансно виноситься Фабрі-Перо модами назовні. Однак, збуджує випромінювання з таким хвильовим числом слабо проникає вглиб зразка, оскільки таке хвильове число потрапляє у фотонну заборонену зону. Тому амплітуда максимуму С в залежності від стоксового компонента сигналу ВРХ від хвильового числа збудження також мала. У т. А і D хвильові вектора ні збуджуючого ні розсіяного випромінювань не потрапляють у фотонну заборонену зону. Більш того, у т. А збуджуюче випромінювання резонансно проникає вглиб зразка, тоді як у розсіяне випромінювання резонансно виходить назовні. Цим і пояснюється різке збільшення сигналу КРС у т. А. і D.

КРС у досліджуваних зразках фотонних кристалів на основі пористого кремнію збуджувалося випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda=1,064 \text{ мкм}$. При виготовленні зразків товщини шарів та їх пористість були обрані таким чином, довжина хвилі збудження потрапляла в край фотонно забороненим зонам (ФЗЗ). Описані вище теоретичні залежності розраховані для довжини хвилі збуджуючого випромінювання, що змінюється, в той час, як для експериментального спостереження посилення КРС довжина хвилі збудження залишалася постійною, а край фотонної

забороненої зони зрушувався щодо неї. Зсув фотонної забороненої зони здійснювався за допомогою зміни кута падіння. При зміні кута падіння від 0° до 45° зсув фотонної забороненої зони становив близько 500 см^{-1} . З урахуванням цього, для зразка NPS-2 отримуємо, що на експериментально отриманій залежності інтенсивності стоксової компоненти КРС від кута падіння збуджуючого випромінювання локальний максимум на 20° відповідає локальному максимуму А теоретичної залежності інтенсивності КРС від частоти збудження (рис. 2). Локальні максимуми зазначеної експериментальної залежності на 40° і 55° обумовлені резонансним входом збуджуючого випромінювання у т.т. А і А". Аналогічно можуть бути пояснені експериментально отримані максимуми інтенсивності КРС і для інших зразків. Дійсно, для зразка PPS-1 максимум на 10° відповідає т. D теоретичного спектру на рисунку 2, а для зразка NPS -1 максимум на 20° аналогічний максимумам для зразка NPS-2 на 40° і 55° і викликаний резонансним проникненням збуджуючого випромінювання в структуру.

Зазначимо, що для зразка NPS-2 на експериментальній залежності інтенсивності сигналу КРС від кута падіння, амплітуда локального максимум при 20° сильно деградована, як і амплітуда Фабрі-Перо мінімуму на 9500 см^{-1} на експериментальному спектрі відображення. Така деградація пояснюється недосконалістю геометрії виготовленого зразка фотонного кристала: аперіодичністю, дисперсією товщини шарів, шорсткістю меж розділу. Зазначені фактори при розрахунку інтенсивності КРС не враховувалися.

Оцінимо вплив числа верств посилення сигналу КРС. Будемо вважати, що коефіцієнтом посилення сигналу стоксової компоненти КРС в досліджуваних структурах є відношення інтенсивності сигналу в локальному максимумі на довгохвильовому краю фотонної зони (т. А) до середньої інтенсивності сигналу від однорідної неперіодичної структури, з товщиною, рівної товщині періодичного зразка та з показником заломлення $n=2,36$. Згідно з даними, наведеними на рисунку 2 коефіцієнт посилення для модельної структури з 21 парою шарів різної пористості дорівнює 5,9.

Розглянемо вплив числа пар шарів на величину посилення сигналу стоксової компоненти КРС. Для цього розрахуємо залежності інтенсивності ВРХ від хвильового числа збуджуючого випромінювання для числа пар шарів, що дорівнює 5, 10, 20 та 40. Результати розрахунків наведені на рисунку 4. Видно, що при збільшенні числа пар шарів від 5 до 40 коефіцієнт підсилення зростає з 2 до 20.

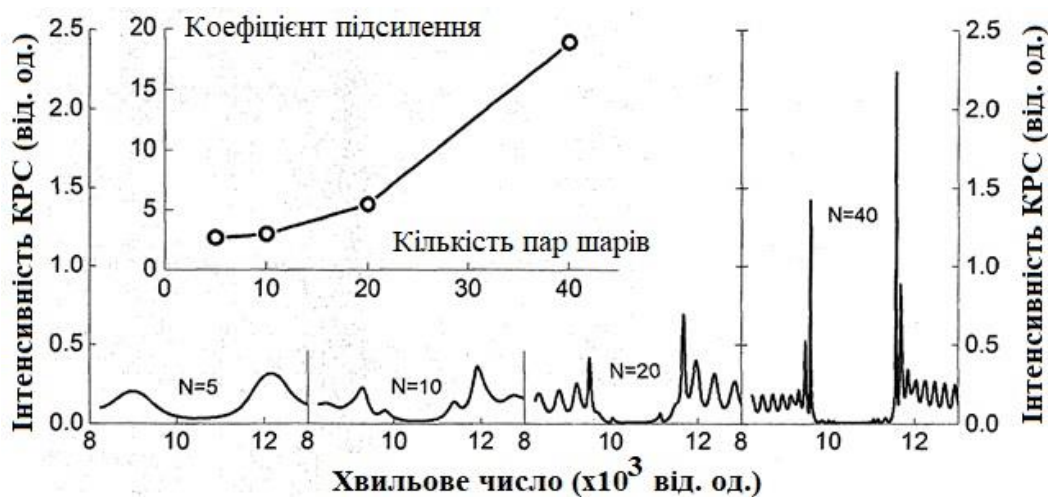


Рисунок 4 – Інтенсивності сигналу стоксової компоненти КРС від структур одновимірних фотонних кристалів, утворених різним числом пар шарів з показниками заломлення $n_1=1,91$ і $n_2=2,36$. На вставці: залежність коефіцієнта посилення сигналу КРС від пар шарів.

Досі раніше досліджувалася інтенсивність тільки стоксової компоненти КРС одновимірних фотонно-кристалічних структур, виготовлених з пористого кремнію. Розрахуємо інтенсивність також і антистоксової компоненти сигналу КРС. Розрахунок було проведено для модельної структури, зображеної на рисунку 1. Результати розрахунку для стоксової компоненти КРС наведено на рисунку 5 порівняно з випадком антистоксової компоненти. Видно, що ефект посилення антистоксової компоненти ВРХ також існує. Оскільки хвильове число розглядається компоненти на 520 см^{-1} більше хвильового числа збудження, то локальні максимуми A_1 і C_1

залежності інтенсивності ВРХ від хвильового числа збудження знаходиться на короткохвильовому краї фотонної забороненої зони, B_1 і D_1 - на довгохвильовому.

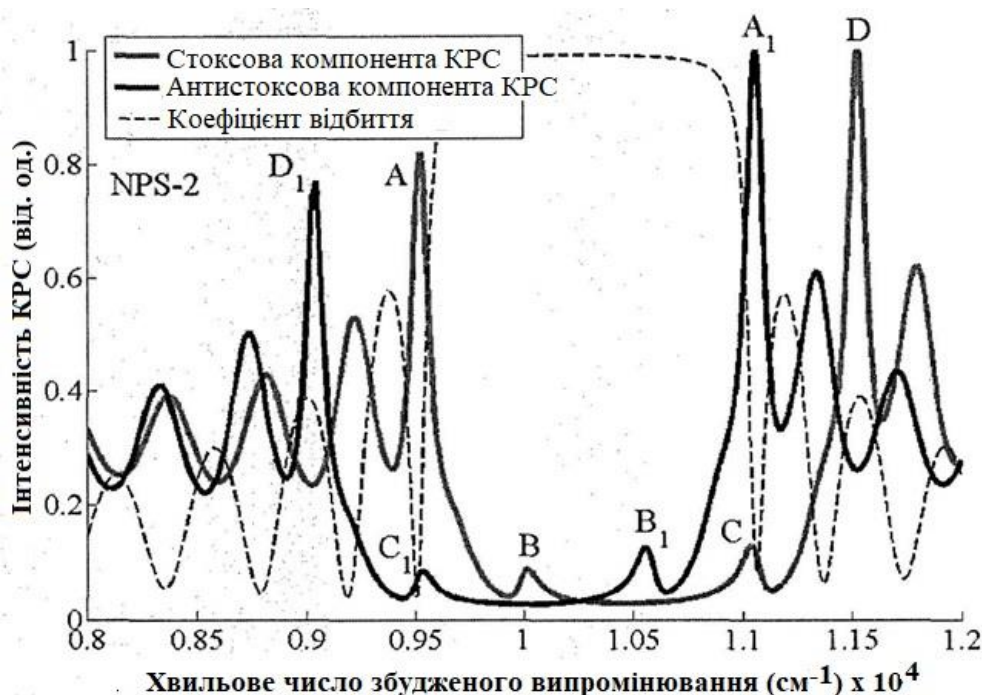


Рисунок 5 – Інтенсивності сигналу стоксової компоненти КРС від структур одновимірних фотонних кристалів, утворених різним числом пар шарів з показниками заломлення $n_1=1,91$ і $n_2=2,36$. На вставці: залежність коефіцієнта посилення сигналу КРС від пар шарів.

Висновки. З використанням методу осцилюючих електричних диполів розрахована залежність інтенсивності комбінаційного розсіювання світла в одновимірних фотонно-кристалічних структурах на основі пористого кремнію від хвильового числа збудливого випромінювання в області хвильових чисел 9000-12000 см⁻¹ і дано пояснення ефект багаторазового посилення стоксової компоненти розсіяного світла. Передбачено можливість посилення антистоксової компоненти комбінаційного розсіювання світла при збудженні поблизу країв фотонної забороненої зони.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. S. Yuan, D. Hu, X. Yu, L. He, Q. Lei, H. Chen, X. Zhang, Y. Xu, D. Yang. Multicrystalline silicon crystal assisted by silicon flakes as seeds // *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 174, pp. 202-205 (2018).
2. N. H. Maniya, J. Ashokan, D. N. Srivastava. Application of porous silicon in solar cell // *AIP Conference Proceedings*, 11 May 2018, 1961, 030019 (2018).
3. R. Suryana, D. K. Sandi, O. Nakatsuka. The morphological study of porous silicon formed by electrochemical anodization method // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 333, 012034 (2018).
4. M. Ramesh, H. S. Nagaraja. The effect of etching time on structural properties of porous silicon at the room temperature // *Materials Today: Proceedings*, 3, pp. 2085-2090 (2018).
5. A.L. Yampolskiy, O.V. Makarenko, L.V. Poperenko, V.O. Lysiuk. Ellipsometry of hybrid noble metal-dielectric nanostructures. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* 21, 412 (2018).
6. L.N. Acquaroli. Matrix method for thin film optics. e-print arXiv:1809.07708v1 (2018).

НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА MATLAB

В даній статті розглянуто методику побудови моделі досліджуваного об'єкта керування та отримання налаштувань регулятора. Всі розрахунки були проведені на основі методу площ Сімою, який дозволяє ефективно підбирати параметри регулятора шляхом використання апроксимуючих виразів без складних диференціальних рівнянь на основі експериментальних даних. Особливо це корисно для проектування систем управління, які мають велику точність та легко алгоритмізуються.

Ключові слова: система керування, автоматизація, регулятор, крива розгону, перехідна характеристика.

L. M. Markina, V. O. Satsyk, O. M. Reshelylo, O. O. Smoljankin. Adjusting the controller parameters using the Matlab environment. This article discusses the method of building a model of the researched control object and obtaining the settings of the regulator. All calculations were carried out on the basis of the Simo area method, which allows you to effectively select the parameters of the regulator by using approximating expressions without complex differential equations based on experimental data. It is especially useful for designing control systems that have high accuracy and are easily algorithmized.

Keywords: control system, automation, regulator, acceleration curve, transient characteristic.

Постановка проблеми. Сьогодні велика частина виробництв є автоматизованими, які забезпечують моніторинг та регулювання основних технологічних параметрів процесу. Сучасні системи керування працюють без прямого втручання людини, завдяки використанню автоматизованих пристроїв. Впровадження сучасних технічних засобів автоматизації, які дозволяють покращити якість продукції і підвищити продуктивність також мають ряд недоліків. До найпоширеніших можна віднести: значні інвестиційні витрати, закупівля та налаштування спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення. З метою мінімізації витрат необхідно дотримуватись ряду стратегій та підходів. Одним із методів є дослідження на налагодження системи автоматизації за допомогою відомої науки «Теорії автоматичного керування». Основне завдання якої полягає в створенні ефективних систем управління з врахуванням всіх особливостей досліджуваного технологічного процесу та підбором оптимальних параметрів налаштування системи для ефективного та швидкого подальшого її впровадження. Основним завданням теорії автоматичного керування є розробка математичних моделей, алгоритмів та стратегій, які дозволяють системам автоматичного керування ефективно та стабільно пристосовуватися до змін у середовищі або в об'єктах, якими вони керують. Одним із найпоширеніших методів теорії автоматичного керування, який дозволяє провести необхідні налаштування системи керування, а саме параметрів регулятора є метод площ Сімою. Чимало існуючих алгоритмів ґрунтується на дослідженні поведінки САР у перехідних режимах за допомогою диференціальних рівнянь. Однак використання для дослідження реальних технологічних систем обмежене перед усім через складність застосування математичного інструменту, який передбачає подальші складні обчислення. Тому доволі часто під час проектування САР застосовують експериментальні методи визначення параметрів об'єктів регулювання [1].

Врахувавши переваги та недоліки існуючих методик для налаштування систем автоматичного керування використаємо саме метод Сімою. Він дозволяє отримати апроксимуючі вирази будь-якого порядку без застосування складних диференціальних рівнянь на основі експериментальних даних. Цей метод дуже зручний для обробки на ЕОМ, який легко алгоритмізується та відрізняється великою точністю [2].

Виклад основного матеріалу. Розглянемо технологічний процес виробництва пива, а саме стадію приготування пивного затору. Даний етап передбачає приготування пивного суслу. На даній ділянці необхідно забезпечувати контроль та регулювання температурного режиму, який є одним із основних параметрів, що забезпечує отримання суслу відповідної в'язкості. Адже від дотримання оптимальних параметрів залежить, як подальше бродіння так і якість отриманої продукції.

Згідно алгоритму даного методу для початку потрібно побудувати криву розгону для заторного чану, яку ми отримали експериментальним методом використовуючи дані технологічного процесу. Дана крива відображає зміну досліджуваного параметра об'єкта від стану спокою до усталеного. Дана крива зображена на рисунку 1. Вона відображає зміну температури 70 °С в заторному чані при виробництві пива.

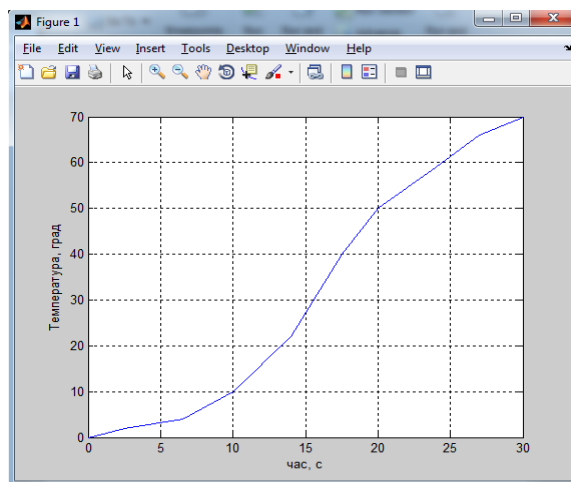


Рисунок 1 – Крива розгону зміни температурного режиму заторного чану

На основі отриманої кривої необхідно побудувати перехідну характеристику та здійснити необхідні налаштування системи керування. Згідно методики площ Сімою М.П., яка дозволяє визначити передаточну функцію моделі об'єкта по кривій розгону- реакція динамічної ланки на стріпкоподібне збурення, яке дорівнює 1.

Динамічні властивості об'єкта апроксимуються моделлю наступного вигляду:

$$W_M = K \frac{1+b_1s+b_2s^2+\dots}{1+a_1s+a_2s^2+\dots} \times e^{-s\tau} \quad (1)$$

де:

K – коефіцієнт підсилення;

τ – час запізнення (запізнення);

a_i, b_i – коефіцієнти передаточної функції.

Основною задачею є визначення коефіцієнтів a_i, b_i передаточної функції методом, запропонованим М.П. Сімою, а також ряд інших коефіцієнтів без яких подальший розрахунок не можливий, оскільки вони відображають динамічні характеристики досліджуваного об'єкта керування.

Коефіцієнт підсилення визначається за формулою:

$$K_{OB} = \frac{\Delta y_{уст.}}{\Delta x_{уст.}} \quad (2)$$

Користуючись алгоритмом даного методу будемо нормовану криву розгону

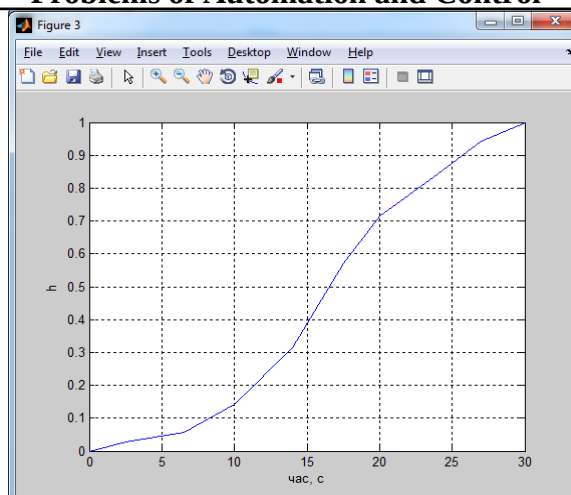


Рисунок 2 – Нормована крива

Наступним етапом є побудова допоміжної φ -функції.

Метод площ Сімою базується на знаходженні площі S (що утворена в наслідок побудови допоміжної функції $\varphi(t)$) (рис. 3).

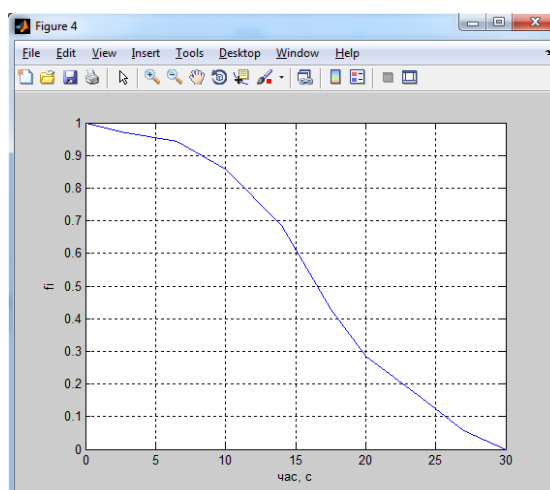


Рисунок 3 – Допоміжна функція $\varphi(t)$

Для розрахунку параметрів досліджуваного об'єкта (в даному випадку заторного чану) використаємо наступний алгоритм:

Коефіцієнти ряду μ_k називаються моментами допоміжної функції $\varphi(t)$ і можуть бути визначені безпосередньо з $\varphi(t)$. Далі застосуємо формулу прямого перетворення по Лапласу для $\varphi(t)$, яка встановлює між ними взаємозв'язок

$$\Phi(s) = \int_0^{\infty} \varphi(t) e^{-st} dt$$

Далі розкладаємо в степеневий ряд і отримуємо

$$\Phi(s) = \mu_0 + \mu_1 s + \mu_2 s^2 + \dots + \mu_k s^k = \sum_{k=0}^{\infty} \mu_k s^k \quad (3)$$

Моменти в свою чергу знаходимо з наступних формул:

$$\mu_0 = \Delta t \{ \sum_{i=1}^{n-1} \varphi(i\Delta t) + 0.5\varphi(0) \} = \Delta t \{ \sum_{i=1}^{n-1} (1 - \bar{h}(i\Delta t)) + 0.5(1 - \bar{h}(0)) \} \quad (4)$$

Отже, розраховані значення моментів:

$$\mu_0 = 12.2143$$

$$\begin{aligned}\mu_1 &= -112.3214 \\ \mu_2 &= 682.3661 \\ \mu_3 &= -3.1672e + 03 \\ \mu_4 &= 1.2207e + 04 \\ \mu_5 &= -4.0566e + 04\end{aligned}$$

```
dt=x(2)-x(1);
m0=dt*(sum(fi(i))+0.5*1)
i=2:1:12;
m1=dt*(sum(fi(i).*(-i*dt)))
m2=(dt/2)*(sum(fi(i).*((-i*dt).^2)))
m3=(dt/6)*(sum(fi(i).*((-i*dt).^3)))
m4=(dt/24)*(sum(fi(i).*((-i*dt).^4)))
m5=(dt/120)*(sum(fi(i).*((-i*dt).^5)))
```

Рисунок 4 – Розрахунок моментів за допомогою matlab

Потім розкладаємо вже нам відому передаточну функцію досліджуваного об'єкта в ряд Тейлора в точці $s=0$:

$$\bar{W}_M^{-1}(s) = \frac{1+a_1s+a_2s^2+\dots+a_ns^n}{1+b_1s+b_2s^2+\dots+b_ms^m} = 1 + S_1s + S_2s^2 + \dots + S_ks^k + \dots, \quad (5)$$

При відомих площах S_k легко визначити коефіцієнти передаточної функції a_i, b_i . Для цього провівши ще ряд математичних перетворень, які детально описані [3] отримаємо:

$$S_k = \mu_{k-1} + \sum_{i=0}^{k-2} \mu_i S_{k-1-i} \quad (6)$$

Провівши розрахунки на основі вже відомих даних і формул знайдемо площі:

$$\begin{aligned}S_1 &= 12,21 \\ S_2 &= 36,87 \\ S_3 &= -239,25\end{aligned}$$

```
s1=m0
s2=m0*s1+m1
s3=m2+m0*s2+m1*s1
s4=m3+m2*s1+m0*s3+m1*s2
s5=m4+m3*s1+m2*s2+m0*s4+m1*s3
s6=s5+m4*s5+m3*s4+m2*s3+m0*s1+m1*s2
```

Рисунок 5 – Розрахунок площ в matlab

Площі розраховуються до першої від'ємної (критерій Стодоли), оскільки у випадках коли площі від'ємні – система нестійка.

Далі знаходимо порядок моделі об'єкта, використовуючи тільки додатні площі методом послідовного підставлення значень S_1 та S_2 .

На основі отриманих даних здійснюємо побудову моделей:

$$\begin{aligned}\bar{W}_m(s) &= \frac{1}{1+S_1s}, \quad n=1, m=0 \\ \bar{W}_m(s) &= \frac{1}{1+S_1s+S_2s^2}, \quad n=2, m=0 \\ \bar{W}_m(s) &= \frac{1}{1+S_1s+S_2s^2}, \quad n=2, m=0\end{aligned}$$

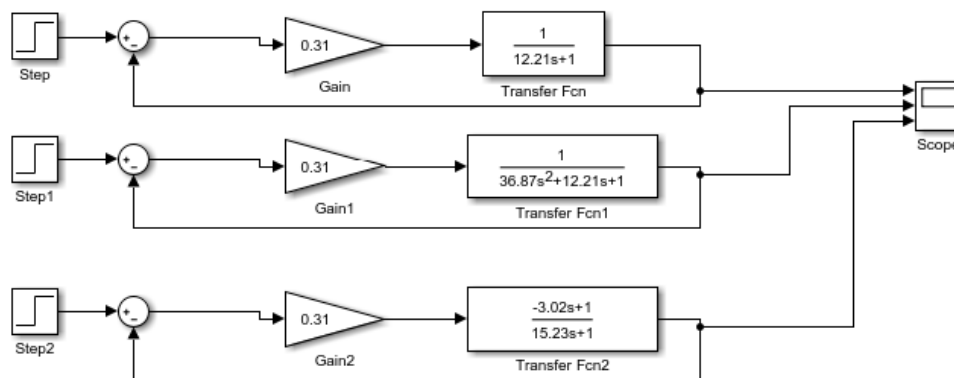


Рисунок 6 – Побудова моделей заторного чану на основі отриманих розрахунків методу площ Сімою

Проводимо побудову перехідних характеристики отриманих моделей.

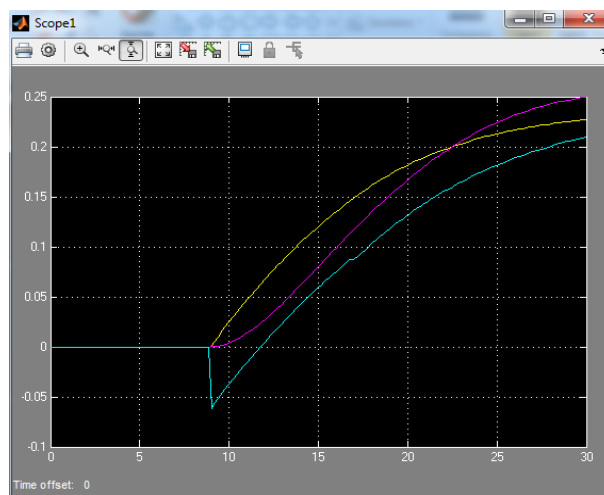


Рисунок 7 – Перехідні характеристики всіх знайдених моделей

Після проведеного аналізу отриманих графічних характеристик, було зроблено висновок щодо відповідності експериментально отриманих даних кривої розгону відповідає модель 1. Наступним етапом є підбір регулятора та налаштування його параметрів для забезпечення стійкості технологічного процесу. З цією метою за допомогою пакету Matlab будуємо модель системи з PID регулятором (рис. 7).

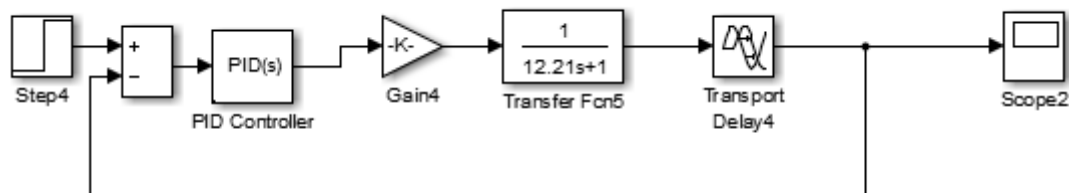


Рисунок 7 – Модель системи з PID регулятором

Розрахунок коефіцієнтів ПІД регулятора проводимо в Simulink. Коефіцієнти та перехідний процес подані на рисунку 8.

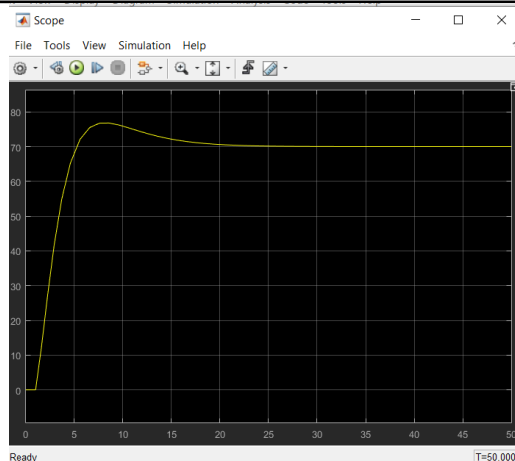


Рисунок 8 – Перехідний процес

Застосування методу площ Сімою дозволив отримати модель досліджуваного об'єкта керування, підбір параметрів PID регулятора (17.64; 3.39; -6.6), визначити час регулювання $t_{reg} = 20$ с та якісний показник перегулюванням $\sigma = 11,4$ %.

Висновки. На основі отриманих результатів можна зробити висновки, щодо досліджуваного процесу, а саме: методом площ Сімою забезпечує стійкість процесу приготування пивного суслу на основі підбраного PID регулятора та його оптимальних налаштувань згідно отриманих коефіцієнтів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пістун Є. П. Основи автоматики та автоматизації: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 336 с.
2. Математичне моделювання об'єктів керування хімічних і фармацевтичних виробництв: навч. посібник / Красніков І. Л., Бабіченко А. К., Вельма В. І., Подустов М. О., Зайцев О. І., Бабіченко Ю. А.; за ред. А.К. Бабіченко. Харків: Вид-во ТОВ"С.А.М.", 2015 р. 224 с.
3. Бахрушин В.Є. Теорія керування : навч. посіб. / В.Є. Бахрушин, Т.Ю. Огаренко. – Запоріжжя : КПУ, 2014. 224 с.

УДК 621.365.036(03)

Нежурін В.І., Куваєв В.Ю., Єрмаков А.О.

Український державний університет науки та технологій

E-mail: V_I_N@i.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ РУДОВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОПЕЧЕЙ

В даній роботі запропоновано систему оптимізації управління режимом рудовідновлювальної електропечі шлакового процесу на основі заступної схеми, побудованої по результатах експериментальних досліджень діючої феросилікомарганцевої електропечі. Наведена схема дозволяє розраховувати розподілення енергії в характерних зонах робочого простору ванни печі з метою ефективного ведення технологічного процесу. Результати розрахунків, технологічні та електричні показники процесу з блоку ідентифікації та контролю режиму роботи подаються на пічний автоматичний регулятор APP-1, що підтримує оптимальний хід технологічного процесу виплавки сплавів марганцю.

Ключові слова: рудовідновлювальна електропеч, феросилікомарганець, заступна схема, електрична дуга, нелінійність, піделектродна зона, ідентифікація, автоматичний регулятор.

V. Nezhurin, V Kuvaev, A. Ermakov. Optimization of operation management of ore recovery electric furnaces. In this work, a system for optimizing the management of the ore recovery mode is proposed electric furnace of the slag process on the basis of a substitute scheme built on the results of experimental studies of an operating ferrosilicomanganese electric furnace. The given scheme allows you

to calculate the distribution of energy in the characteristic zones of the working space of the furnace bath for the purpose of effective management of the technological process. The results of calculations, technological and electrical indicators of the process from the unit of identification and control of the operating mode are fed to the furnace automatic regulator APP-1, which supports the optimal course of the technological process of smelting manganese alloys.

Key words: ore-reducing electric furnace, ferrosilicomanganese, substitute scheme, electric arc, nonlinearity, sub-electrode zone, identification, automatic regulator.

Вступ. Особливість існуючих електротехнологічних процесів у рудовідновлювальних електропечах полягає в тому, що отримання кінцевого продукту відбувається за рахунок теплової енергії, яка виділяється при проходженні змінного електричного струму через струмопровідне середовище, що містить вихідну сировину, проміжні та кінцеві продукти, недоступні для прямого контролю. Перетворення електричної енергії на тепло здійснюється при проходженні електричного струму через зони, які відрізняються агрегатним станом матеріалів, та електричну дугу. Потужність електричної дуги є визначальним чинником. В процесі оперативного управління для кожного технологічного процесу повинен забезпечуватися певний рівень розвитку електричної дуги та необхідний розподіл енергії по зонах електропечі. У зв'язку з вищенаведеним особливу роль для аналізу процесів у ваннах печей з метою оптимізації управління їх роботою мають моделі, побудовані на основі заступних схем. Електричні параметри та характеристики складових елементів моделей відображають реальні властивості піделектродних зон у ванні печі. Аналіз робіт ряду авторів показав, що при розгляді шлакових процесів у рудовідновлювальних печах із закритою дугою (виплавка феромарганцю, феросилікомарганцю) можна виділити ряд характерних зон. Приелектродна та піделектродна області нижче зони твердої шихти і вище зони шлаку утворюють робочу реакційну зону – тигель, розміри якого залежать від діаметру електрода та активної потужності, яка виділяється під ним. Коксовий шар, як стверджують [1], може утворюватися за рахунок деякого надлишку коксу, що подається в піч з метою повнішого відновлення цільового продукту. Зона шлаку обмежена зверху коксовим шаром, знизу – металом, а з боків – нерозплавленою шихтою та гарнісажем. На подині утворюється прошлакований шар металу, на якому накопичується металевий розплав, що періодично зливається. Інтенсивність протікання технологічних процесів визначається об'ємною густиною енергії та температурою в реакційній зоні. Саме від характеру перетворення електричної енергії в тепло, від розподілу потужності у ванні печі між дугою, розплавом та шихтою і залежить створення необхідних умов для ефективної роботи електропечі та необхідного за технологією складу вихідних шихтових матеріалів [3]. Ефективне ведення технологічного процесу потребує відповідного вимогам технології розподілу енергії за характерними зонами ванни. Ця вимога до управління електротехнологічними процесами в електродугових печах була сформульована в [3], але до цього часу не реалізована через відсутність надійних методів оперативного контролю енергетичних параметрів зон струмопровідного середовища ванни. Для кожного процесу відповідно до вимог технології повинен забезпечуватися такий рівень розвитку електричної дуги, при якому протікали б, головним чином, реакції відновлення цільового продукту та забезпечувалася висока продуктивність. Принципово важливим при управлінні режимом є достовірна оцінка енергії, яка виділяється в різних зонах печі, що є виключно складною проблемою, яка не має досі досить простого і надійного рішення [4]. У рудовідновлювальній печі існує тісний і складний взаємозв'язок технологічних параметрів і змінних, які характеризують технологічний стан печі разом з електроенергетичними змінними та параметрами. Усі технологічні змінні є внутрішніми і недоступними безпосередньому спостереженню, вони виявляються в результуючих показниках роботи печі. Зміна технологічних параметрів відображається у зміні електричних параметрів, що вимагає для успішної роботи печі регулювання електричного режиму і навпаки. При одній і тій самій потужності, що виділяється в колі електрода, розподіл енергії між зонами, а також рівень розвитку дуги може бути різним залежно від властивостей внутрішнього середовища та заглиблення електрода. Положення електродів у ванні істотно впливає на рівень розвитку електричної дуги, її довжину і відповідно на перерозподіл потужності. При управлінні задача зводиться до забезпечення такого положення електрода у ванні, при якому створюються умови перетворення енергії з найкращим технологічним ефектом. Властивості та особливості перебігу технологічного процесу виявляються в параметрах та характеристиках, які є комплексними електротехнологічними параметрами, і знаходять своє відображення у формі зовнішніх сигналів миттєвих значень змінного струму та напруги на електродах печі. Електричні параметри несуть важливу інформацію про технологічний процес, тому

оперативне визначення електричних параметрів є не тільки методом контролю ходу технологічного процесу в електродуговій печі, але може бути використане для управління всім технологічним процесом на основі зв'язку електричних змінних та параметрів роботи печі з технологічними параметрами та показниками її роботи [5,6]. В шлакових процесах переважна частина струму (85-95%) проходить по колу «шихта-розплав», оминаючи електричну дугу. В основному потужність дуги становить близько 5-10% потужності електрода. У період випуску сплаву, а також у випадках нестачі вуглецю у шихті потужність дуги збільшується до 10-15 %. Частка енергії, що виділяється на опорі шихти, який шунтує дугу, може становити 20-30%. Основна частка електроенергії (60-90%) перетворюється на тепло на опорі коксошлакового шару між торцем електрода та розплавом [5]. Основи вивчення характеристик потужної електричної дуги було закладено у роботі [6], де зазначено, що миттєве значення напруги дуги в умовах дугової електричної печі залишається постійним за час її горіння і форму кривих напруги на дузі в печі можна прийняти близькою до прямокутної. Дослідження показників закритої електричної дуги методом зондування [7] підтвердили цю думку. Відхилення форми миттєвих значень напруг і струмів електричної дуги в електропечах змінного струму від синусоїдальної дозволяють упевнитись в тому, що пічна дуга в загальному випадку має нелінійні властивості і нелінійну вольт-амперну характеристику (ВАХ) [8-10]. Вид динамічних ВАХ залежить від швидкості зміни електричного режиму дуги та умов її горіння. При стійкому режимі горіння дуги при значних струмах динамічна ВАХ близька до ідеальної релейної характеристики, хоча реальна ВАХ високотемпературної дуги має більш округлі контури. У загальному випадку в результаті нелінійності ВАХ електричної дуги спектральний склад сигналів змінного струму і напруги, крім переважаючої основної першої гармоніки, містить ряд вищих гармонійних складових, амплітуда яких зазвичай швидко зменшується зі зростанням порядку і при розкладанні кривих струму в тригонометричний ряд обмежуються п'ятьма-сімома складовими, найбільш істотне значення серед яких мають третя, п'ята та сьома вищі гармоніки. Можна стверджувати, що представлені дослідженнями результати підтверджують прояв основних процесів у ванні електродугової печі в особливостях форми зовнішніх сигналів струму і напруги на електродах, проте ці особливості не завжди в повній мірі використовуються для оцінки процесу [11-13]. Задача може бути вирішена тільки на основі побудови детальних моделей, зокрема для шлакових процесів, що максимально відображають внутрішню структуру робочого простору ванни, одержану експериментальним шляхом, ідентифікації параметрів і особливостей піделектродних зон. У наведеній роботі ставляться такі основні задачі:

1. Побудова та формалізація нелінійної схемної моделі електротехнологічних процесів у рудовідновлювальній електропечі зі шлаковою ванною для цілей контролю та управління, яка максимально відображає внутрішню зонну структуру струмопровідного середовища ванни, нелінійність та динамічні властивості електричної дуги.
2. Опрацювання методу отримання інформації про перетворення енергії, електротехнологічні параметри та змінні, недоступні для прямого контролю в піделектродних зонах струмопровідного середовища ванни печі, з урахуванням нелінійних характеристик схемної моделі для оптимізації управління технологією виплавки феросплавів.

Основна частина. Струмопровідне середовище ванни досліджуваної феросилікомарганцевої печі може бути представлене відповідно до зонної структури як електричне коло у вигляді відповідної заступної схеми, кожен елемент якої відповідає певній зоні ванни. В об'ємі ванни печі експериментально виявлено ряд характерних зон, що представлено в [14] Це дало змогу деталізувати та уточнити загальноприйнятую заступну схему рудовідновлювальної шлакової печі. Для шлакових процесів у ваннах печей доцільною є схема, де послідовно з опором розплаву включені паралельно з'єднані опори дуги, шихти, а також опори короткої мережі, зон коксування електрода та опір контакту з електродом в електродотримачі. Схемні моделі багатоелектродних печей складаються з однотипних підмоделей, які відповідають електродам, між якими діють взаємні індуктивні зв'язки. Параметри елементів схемних моделей, що відповідають певним зонам, недоступні для безпосереднього вимірювання, тому вони можуть бути визначені тільки на основі ідентифікації в режимі експлуатації установки. Спростити процедуру ідентифікації параметрів зон можна з урахуванням нелінійних властивостей електричної дуги. Для цілей експлуатації модель повинна відображати поточні параметри та давати можливість вибирати стратегію управління об'єктом з метою забезпечення оптимального режиму. Дані моделі є моделями із зосередженими параметрами, і при побудові заступних схем в модель включаються ті елементи, які відображають найбільш суттєві властивості реального об'єкта і значно впливають на його функціонування. Значення параметрів елементів запропонованої заступної схеми були визначені на діючій печі

експериментально, підставлені в систему рівнянь для однієї фази електропечі та визначені за допомогою ресурсів "МАТЛАБ". Процедура ідентифікації параметрів піделектродних зон печі спрощена шляхом врахування нелінійних властивостей ВАХ електричної дуги. У якості критерія ідентифікації використовується квадратичний критерій, коли при визначенні параметрів моделі є мінімальним квадрат норми різниці між вихідним сигналом об'єкту та моделі. Запропоновано інформаційну систему електроенергетичних параметрів технологічних шлакових процесів виробництва феросплавів, яка може використовуватися для контролю за внутрішніми, недоступними для поточного вимірювання енергетичними параметрами печей шляхом реалізації методу ідентифікації схемної моделі з урахуванням нелінійності характеристики електричної дуги. Інформаційна система може бути використана в АСУ технологічним та електричним режимами рудовідновлювальної печі з автоматичним регулятором АРР-1 (рис.1).

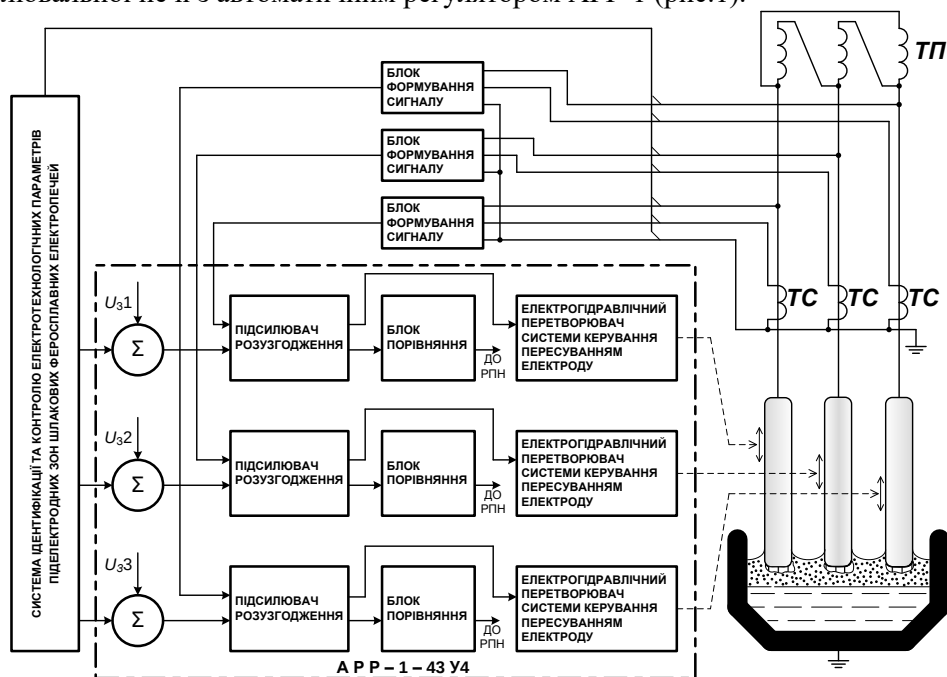


Рис.1. Спрощена структурна схема інформаційної системи ідентифікації та контролю електротехнологічних параметрів піделектродних зон в системі автоматичного керування рудовідновлювальною електропечі з промисловим регулятором АРР-1-43У4

Наведена інформаційна система дозволить скоригувати розподілення енергії в об'ємі робочого простору ванни шлакової рудовідновлювальної електропечі в ході процесу в бік оптимізації за рахунок контролю корисної фазної напруги електроду, яка є визначеною для кожного сплаву, залежить від фізико-хімічних властивостей процесу і пов'язана з потужністю електричної дуги.

Висновки.

1. Розроблена уточнена заступна схема для шлакового процесу у рудовідновлювальній електропечі, одержана у результаті експериментального дослідження робочого простору діючої феросилікомарганцевої електропечі.

2. Запропоновано інформаційну систему електроенергетичних параметрів технологічних шлакових процесів для виробництва феросплавів, яка може використовуватися для контролю за внутрішніми, недоступними для поточного вимірювання енергетичними параметрами печей шляхом реалізації методу ідентифікації схемної моделі з урахуванням нелінійності характеристики електричної дуги.

3. Наведена інформаційна система дозволить скоригувати розподілення енергії в об'ємі робочого простору ванни шлакової рудовідновлювальної електропечі в бік оптимізації за рахунок контролю, наприклад, корисної фазної напруги електроду.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Карманов Э.С., Величко Б.Ф. Модель строения ванны рудовосстановительной печи. [Текст] /Сталь, Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал. – 1984. - №11. – С.40 – 42.
2. Максименко М.С. Основы электротермии. Л., ОНТИ, 1937.- 134 с.

3. Педро А.А. Интенсификация электротермических процессов технологии неорганических веществ. Автореферат дис. докт. техн. наук. - СанктПетербург, 1998. - 49 с.
4. Воробьев В.П., Сивцов А.В. Электрические параметры характерных зон рабочего пространства ферросплавных печей // Промышленная энергетика. 1986.: 10. - С. 46-49.
5. Лукашенко А.В., Фомичев А.А. Исследование методики расчета параметров схем замещения на руднотермической печи // Сталь. - М.: 1999. №2. С. 35-38.
6. Тельный СИ. Жердев И.Г. Шунтированная дуга в электрических ферросплавных печах. Теория и практика металлургии, 1937, № 9, с, 83-89.
7. Данцис Я.Б., Жилов Р.М. О форме кривых напряжения и тока дуги в руднотермических электропечах // Электричество. 1991. № 6. С 27-32.
8. Кузьменко С.Н. Определение параметров и характеристик элементов схем замещения ванн рудовосстановительных электропечей / С.Н. Кузьменко, А.В. Николенко //Сталь, 2005. - N12 - С. 35-38.
9. Иванов Д.А., Лукашенко А.В. Расчет параметров рабочей зоны электропечи на основе кусочно-линейной аппроксимации нелинейных характеристик // Элементы и системы оптимальной идентификации и зшравлення технологическими процессами. - Тула, ТулГТУ, 1994. С. 34-42.
10. Фомичев А.А., Лукашенко А.В. Идентификация нелинейных схемных моделей процессов рудной электротермии. - Тула: ТулГУ, 1996. - 134 с.
11. Плакидин А.С., Лукашенко А.В. Методы контроля электротехнологических процессов в дуговых печах на основе нелинейных и динамических свойств электрической дуги // "Математические методы в технике и технологиях" - ММТТ-21. Сб. трудов XXI Международной научной конференции. Т. 6. Под общ. ред. В.С. Балакирева. Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического университета, 2008.- С. 75-77.
12. Елизаров В.А. Моделирование подэлектродного пространства однофазной руднотермической печи с закрытой дугой. // Труды Б Всероссийской научно-технической конференції «Системы обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии и системы транспортировки теплоты». Ч. I. Махачкала: ДГТУ, 2011. - С. 184-189.
13. Modelling of AC Arcs in Three-Phase Submerged Arc Furnaces Gudrun Saevarsdottir, Hilde Lken Larsen and Jon Arne Bakken Norwegian University of Science and Technology, Norway. The Proceedings of INFACON 8..p.317-322.
14. Нежурин В.И., Николенко А.В., Куваев В.Ю. Исследование особенностей газодинамики рабочего пространства ванны действующей электропечи РПЗ-48(63) при выплавке ферросиликомарганца [Текст] / Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського, Серія: Технічні науки, Том 31 (70), Ч.2. 2020. - №2. – С. 9-16.

УДК 621.396.1

Й. Р. Селепина, І. С. Шиманський

Луцький національний технічний університет

E-mail: y.selepyna@lntu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ LTE ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В статті ми моделюємо поведінку бездротового каналу низхідної лінії зв'язку в кінцевому стані на основі конфігурацій і системних параметрів, наданих 3GPP LTE. Для дослідження використано канали передачі LTE downlink із адитивним Гауссівським шумом, канал Релея, та канал Райса. Моделювання здійснено в середовищі MATLAB. На основі створених моделей було проведено аналіз якості передачі сигналів в каналах запропонованого типу, дослідження отриманих спектральних діаграм та діаграм сузір'їв модуляції для кожного каналу передачі даних, оцінка допустимого рівня бітової помилки BER. Модель може бути використана для надання вхідних даних фізичного рівня для оцінки продуктивності алгоритмів планування, контролю доступу, контролю потужності тощо на верхніх рівнях.

Ключові слова: мережі безпроводового зв'язку, LTE, BER, моделювання.

In this paper, we model the end-state behavior of a wireless downlink channel based on configurations and system parameters provided by 3GPP LTE. LTE downlink transmission channels with additive Gaussian noise, Rayleigh channel, and Rician channel were used for the research. The simulation was carried out in the MATLAB environment. On the basis of the created models, an analysis of the quality of signal transmission in channels of the proposed type was carried out, a study of the received spectral diagrams and diagrams of modulation constellations for each data transmission channel, an assessment of the permissible level of BER. The model can be used to provide physical layer inputs to evaluate the performance of scheduling, access control, capacity control, etc. algorithms at upper layers.

Keywords: wireless communication networks, LTE, BER, simulation.

Постановка проблеми. Усвідомлюючи цінність і потенціал мобільних мереж наступного покоління, великі розвинені країни розробляють різні політики та конкурентно розглядають перехід до безпечних мобільних мереж наступного покоління. Основні напрямки розвитку галузі включають вирішення таких завдань як: забезпечення доступності телекомунікаційних послуг для всіх шарів населення та географічних областей; стимулювання технологічного оновлення і модернізації мереж та інфраструктури; збільшення інвестицій до галузі для створення інноваційних рішень. Проте, значний якісний стрибок в якості послуг при переході до мереж зв'язку нових поколінь, що зумовлений впровадженням нових ефективних технологій передавання і обробки сигналів, одночасно вимагає все більших затрат на проектування, організацію і впровадження таких мереж зв'язку. Тому актуальною залишається задача моделювання каналів передачі та систем управління для проведення попереднього тестування та аналізу запропонованих рішень. Результати таких досліджень надають важливу інформацію для розробників технологій та стандартів безпроводового зв'язку та суб'єктів галузі зв'язку на ринку народного господарства країни, що сприяє полегшенню впровадження політик та стратегій для переходу поколінь мереж мобільного зв'язку не лише від 3G до 4G, а й від 4G до 5G.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Long-Term Evolution (LTE) — це новий стандарт бездротового зв'язку четвертого покоління (4G). LTE забезпечує високу спектральну ефективність, високу пікову швидкість передачі даних, мінімальний час передачі по висхідній та низхідній лінії та гнучкість частоти [1-3]. Він спирається на наступні технології: мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (OFDM) і множинним входом і множинним виходом (MIMO), надійне каналне кодування, планування та адаптація каналу. LTE сумісний із широко використовуваними технологіями, такими як GPRS, WCDMA та HSPA і це дозволяє операторам мобільного зв'язку, які розгортають LTE, надавати безперебійні послуги та багаторежимні пристрої для клієнтів. Технологія LTE розвивалася покроково, у вигляді кількох версій, що призвело до покращення пропускної здатності даних, менших затримок і все більш гнучких конфігурацій [1]. Її перша версія, R8, забезпечувала пікові швидкості 300 Мбіт/с низхідної лінії зв'язку та 75 Мбіт/с висхідної лінії зв'язку, затримку в радіомережі менше 5 мс, ширину смуги пропускання у 1,4, 3, 5, 10, 15 або 20 МГц. Такі характеристики дозволяють реалізацію різноманітних сценаріїв розгортання та реалізують значне підвищення ефективності використання спектру в порівнянні з попередніми системами стільникового зв'язку (Універсальна система мобільного зв'язку - UMTS і Високошвидкісний пакетний доступ - HSPA).

Версія 9 представила деякі нові функції служби та покращення архітектури мережі, такі як удосконалені мультимедійні ширококомовні та багатоадресні послуги, служби визначення місцезнаходження та двошарове формування променя. Версія 10, LTE Advanced, має пікову швидкість передачі даних 3 Гбіт/с у низхідній лінії зв'язку та 1,5 Гбіт/с у висхідній лінії зв'язку, конфігурації антен MIMO вищого порядку, що підтримують до 8×8 низхідних ліній зв'язку та 4×4 висхідних ліній зв'язку, а також агрегацію несучої (CA). Випуск 11 і новіші включають удосконалення агрегації несучих, MIMO та вузлів ретрансляції, впровадження нових діапазонів частот і скоординовану багатоточкову передачу та прийом [4]. LTE підтримує дуплексні схеми з часовим і частотним поділом (TDD/FDD) у тих самих діапазонах частот, що й для UMTS: 15 діапазонів частот (від 1 до 14 і 17) є FDD і 8 діапазонів (від 33 до 40) є TDD. LTE також підтримує три схеми модуляції: QPSK, 16-QAM і 64-QAM. Схема передачі по низхідній лінії зв'язку LTE базується на множинному доступі з ортогональним частотним поділом каналів (OFDMA), тоді як передача по висхідній лінії зв'язку базується на множинному доступі з частотним поділом каналів з однією несучою (SC-FDMA). OFDMA перетворює широкосмуговий частотно-селективний канал на набір багатьох підканалів із завмиранням, що забезпечує оптимальний прийом, який має бути реалізований з розумною складністю під час передачі MIMO. У висхідній лінії зв'язку SC-FDMA є

більш енергоефективним, ніж OFDMA, через низький PAPR, що призводить до зниження вимог до лінійності та підвищує ефективність підсилювачів потужності обладнання користувача (UE). SC-FDMA базується на дискретному перетворенні Фур'є (DFT) з попереднім кодуванням OFDMA. Щодо висхідної лінії зв'язку, обмеження вихідної потужності LTE відрізняються залежно від діапазону частот. Максимальна потужність передачі становить 23 дБм. [4]

Постановка завдання. Дослідити характеристики низхідного каналу передачі даних LTE допомогою комп'ютерного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Аналіз характеристик технології LTE дозволяє стверджувати, що він є найсучаснішим широко використовуваним стандартом, що використовується для розгортання високошвидкісного бездротового зв'язку четвертого покоління. Дослідження та вивчення багатопроблемності в безпроводових каналах LTE з використанням моделей безпроводових ліній низхідного каналу LTE дасть корисну інформацію про умови передачі даних в каналі, що, зрештою, впливає на швидкість і якість передачі. За об'єкт спостереження візьмемо три типи бездротових каналів: канал з адитивним білим гауссівським шумом (AWGN channel - практично ідеальні умови поширення), канал Райса (Rician channel - в якому враховується лише лінія прямої видимості - LoS) та канал Релея (Rayleigh channel - в якому враховується пряма видимість та умови непрямой видимості - LoS + NLoS). При цьому було розглянуто графіки різних модуляцій: QPSK, QAM-16, QAM-64, QAM-256.

Побудуємо модель бездротового каналу передачі з AWGN за допомогою пакету інтерактивної системи MATLAB [5-6]. Будемо використовувати QAM-16 модуляцію (рисунок 4.1).

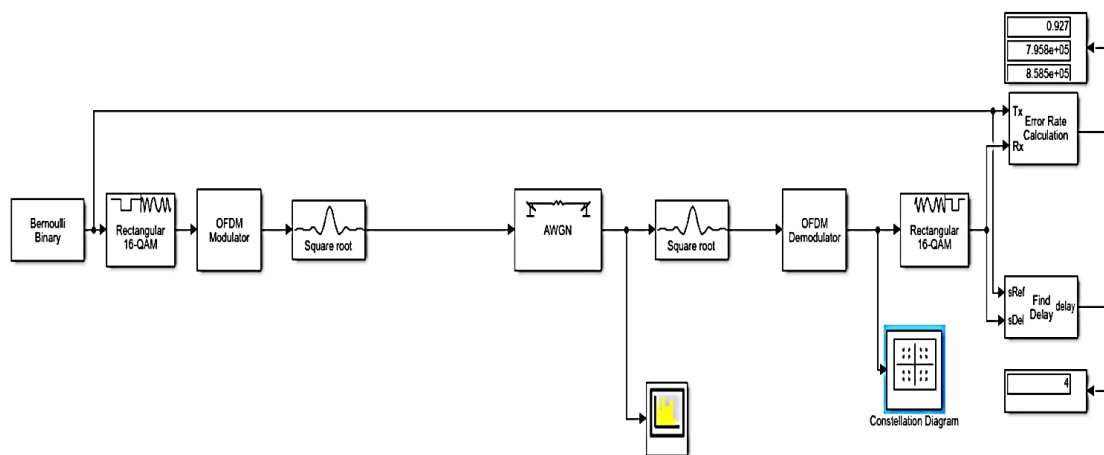


Рисунок 1 - Модель LTE downlink з використанням AWGN каналу з 16-QAM

Алгоритм роботи цієї моделі наступний. Джерело сигналу (Bernoulli binary generator) генерує випадкову двійкову послідовність, яка надходить на вхід QAM-16 модулятора. QAM 16 modulator модулює вхідний сигнал методом квадратурної амплітудної модуляції. Модульований сигнал надходить на OFDM модулятор. OFDM модулятор відправляє сигнал на передавальний косинусний фільтр. Косинусний фільтр підвищує частоту дискретизації та фільтрації вхідного сигналу з використанням підвищеного кореневого косинусного FIR-фільтру. Високочастотний сигнал потрапляє у канал з адитивним білим Гауссівським шумом (AWGN канал). На виході з каналу сигнал потрапляє на косинусний приймальний фільтр, який знижує частота сигналу. Далі сигнал проходить через OFDM демодулятор та потрапляє на демодулятор QAM-16. Вихідний сигнал аналізується з допомогою Error Rate Calculator, до якого був підключений дисплей для показання значення BER. На виході з демодулятора було під'єднано діаграму сузір'я. Діаграми сузір'їв це двовимірні графічні представлення сигналів із цифровою модуляцією.

За цими діаграмами сузір'їв ми будемо аналізувати якість передачі цифрового сигналу на прийомі. На вихід із AWGN каналу було підключено Spectrum analyzer, що показує спектральне представлення сигналу (див. рисунок 2, а).

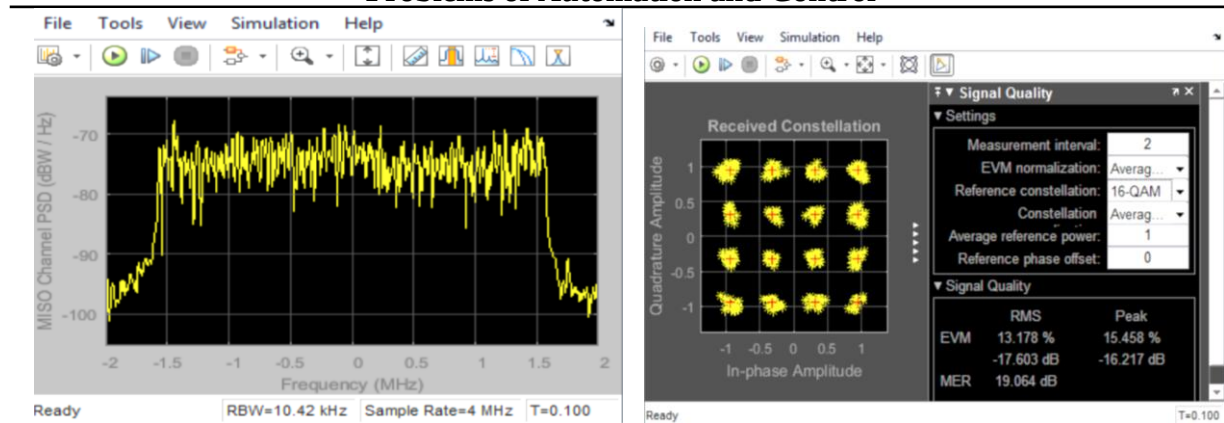


Рисунок 3 – а) спектральна діаграма ідеального каналу передачі даних;
б) діаграма сузір'їв модуляції QAM-16

На рисунку 2, а) видно спектральну діаграму ідеального каналу передачі даних. Потужність сигналу знаходиться в від'ємному діапазоні, сигнал поширюється рівномірно. На рисунку 2, б) видно ідеальну діаграму сузір'їв для AWGN каналу передачі з 16-QAM модуляцією. Усі сигнальні точки сузір'я знаходяться згідно з ідеальним сузір'ям модуляції 16-QAM.

Розглянемо модель Релеєвського каналу передачі з такими самими компонентами.

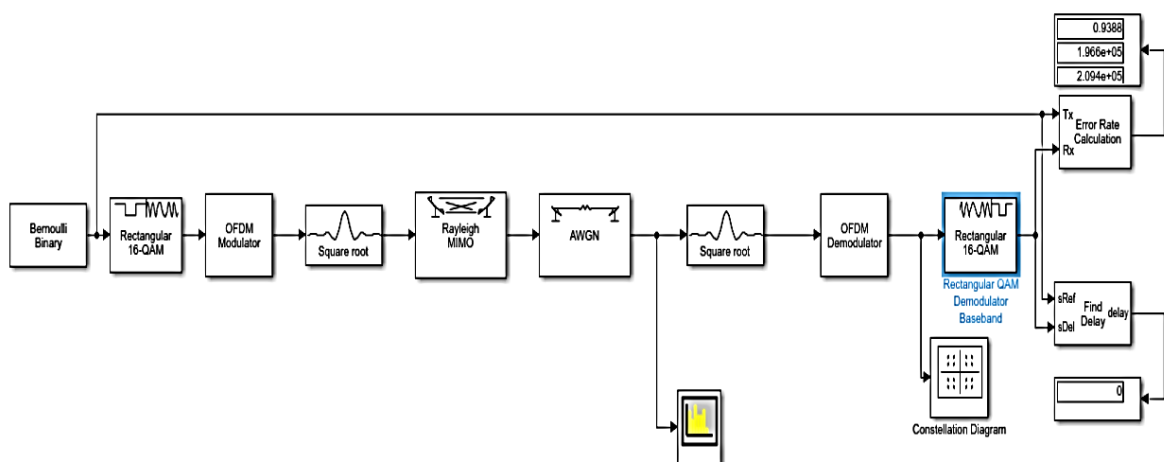


Рисунок 3 - Модель Релеєвського каналу з 16-QAM модуляцією

У цій моделі було додано Релеєвський канал згасання. У каналі Релея крім адитивної складової шуму є мультиплікативні шуми, спричинені перетвореннями та рухами об'єктів у середовищі. У каналі Релея немає прямої видимості, приймач отримує лише відбиті сигнали.

На рисунку 4, а) бачимо діаграму сузір'я 16-QAM модуляції канал Релея. Через наявність у каналі мультиплікативних шумів, діаграма змінилася. Сигнальні точки знаходяться у зміщеному від ідеального положення стані. Це говорить про якість передачі в каналі.

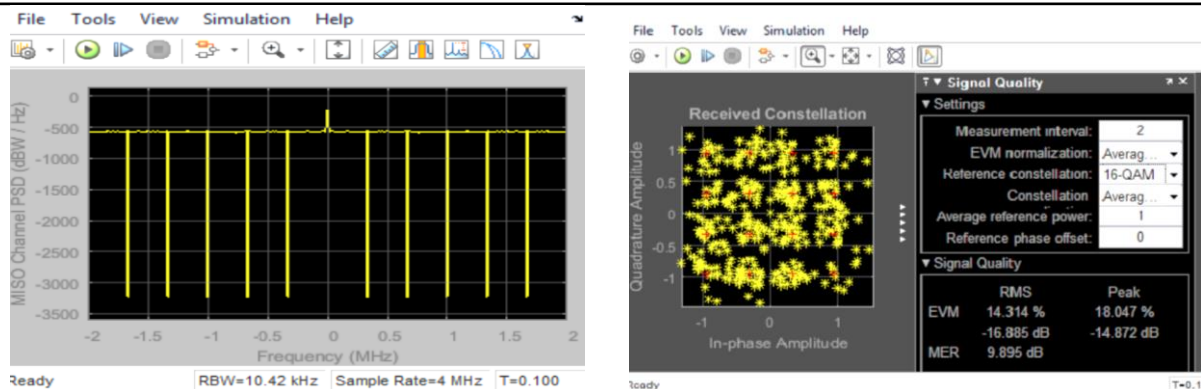


Рисунок 4, а) – спектр вихідного сигналу;
б) - діаграма сузір'їв 16-QAM модуляції

Аналогічно побудуємо модель низхідного каналу LTE з умовами поширення згідно з Райсом.

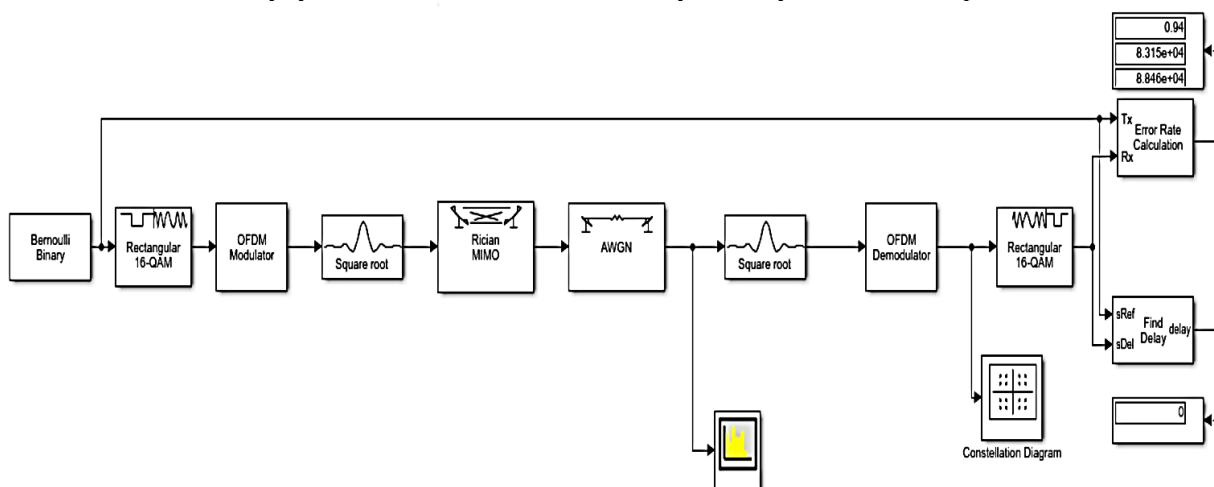


Рисунок 5 - Модель каналу Райса з 16-QAM модуляцією

На рисунку 6 показані отримані сигнальні сузір'я з каналу Райса.

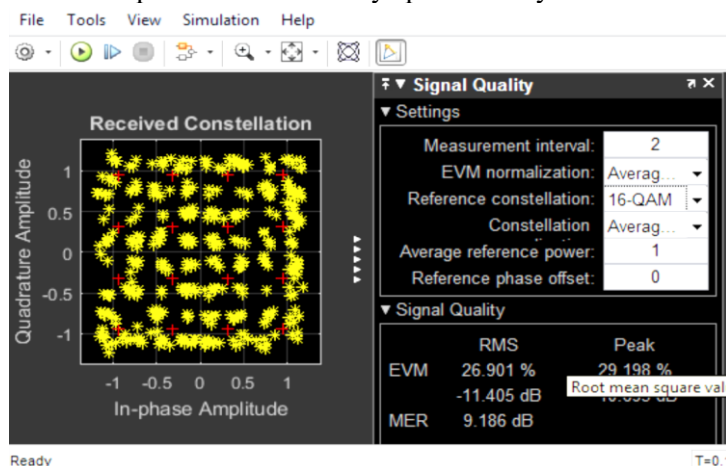


Рисунок 6 - Діаграма сузір'їв 16-QAM модуляції каналу Райса

Бачимо, що сигнальні точки, розташовані на діаграмі сузір'я, не відповідають ідеальному розташуванню в 16-QAM модуляції. Це сталося через наявність деяких шумів у каналі Райса, зокрема викликаних незначними перевідбиттями в умовах прямої видимості. Однак, порівняно з каналом Релея, ми бачимо кращі умови і, відповідно, кращу якість передачі в каналі з меншою кількістю помилок.

Відмітимо, що для технології LTE вимоги по допустимій величині бітових помилок BER набагато суворіші, ніж для попереднього покоління безпроводового зв'язку. Наприклад, якщо в

системах зв'язку третього покоління значення BER допускалося до 10^{-2} , то в системах четвертого покоління вимоги до значення $BER=10^{-4}$. Велику роль у цьому у разі грає OFDM модуляція, тобто розбиття на ортогональні (перпендикулярно розташовані) низькошвидкісні частотні піднесучі, які не заважають одна одній при поширенні і тим самим частково пригнічують негативний ефект від багатопроменевості. Крім того, на зменшення коефіцієнта бітових помилок BER впливає рівень співвідношення сигнал/шум SNR у каналі.

Розглянувши моделі низхідних LTE каналів передачі даних з каналом AWGN, каналом Релея та каналом Райса з різними модуляторами робимо висновок, що найбільш ідеальним є канал AWGN, оскільки є каналом з нульовим завмиранням. З існуючих реальних каналів найкращі діаграми сузір'їв були в каналі Райса. Канал Райса передає сигнал кращої якості, оскільки приймач отримує сигнал прямої видимості.

Висновки. На основі створення моделей бездротового каналу передачі LTE downlink із використанням каналу з адитивним Гауссівським шумом (AWGN channel), LTE downlink з використанням каналу Релея (Rayleigh channel), LTE downlink з використанням каналу Райса (Rician channel) за допомогою пакету інтерактивної системи MATLAB, було проведено аналіз отриманих спектральних діаграм та діаграм сузір'їв модуляції для кожного каналу передачі даних. Здійснено порівняння якості передачі в каналах запропонованого типу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Takpor T., Idachaba F. Analysis and Simulation of LTE Downlink and Uplink Transceiver. Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 1. 2014. P. 150-155.
2. Olasupo K., Kostanic I., Olasupo O. Analytical Modeling of LTE-based Network Capacity for Public Safety Communications. Universal Journal of Communications and Networks. 4. 2016. P. 37-46. 10.13189/ujcn.2016.040301.
3. Gupta S., Gupta V. Analytical modeling of RLC protocol of LTE using stochastic reward nets. International Journal of Communication Systems. 2019. 10.1002/dac.3903.
4. Yaser M. Improving SINR 4G/LTE Femtocell in the Coexisting Network. Jurnal Teknologi Elektro. 14. 2023. 10.22441/jte.v14i3.001.
5. MATLAB. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. (Дата звернення 18.09.2023).
6. MATLAB. «Deep Learning Toolbox» [Електронний ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/deeplearning/index.html?s_tid=CRUX_topnav. (Дата звернення 18.09.2023).

УДК 651.3:518.5

Бучок А.А., Климаш Н.І.

Державний торговельно-економічний університет, м. Київ

E-mail: A.Buchok.FEMP.051.20@knute.edu.ua

ЗАГРОЗИ РОЗВИТКУ ПРОФЕСІЇ ЕКОНОМІСТА В ЕПОХУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Анотація: Вплив цифрової трансформації на економіку та бізнес. Цифрова економіка призводить до стрімкого розвитку соціальних мереж, смартфонів, доступу до Інтернету, технологій машинного навчання та штучного інтелекту. Два основних напрямки цифрової трансформації: автоматизація та роботизація бізнес-процесів і розширення систем управління для масштабування організацій. Також, побоювання щодо можливого зникнення деяких професій, зокрема, економістів, через автоматизацію та роботизацію. Зазначається, що цифрова трансформація призводить до з'єднання учасників ринку в єдиний цифровий світ, створюючи нові цифрові екосистеми. Текст закликає до активного вивчення та адаптації до нових технологій, визначає важливість людей з компетенціями у сфері нових технологій для успішного розвитку економіки в епоху цифрової трансформації.

Ключові слова: цифрова економіка, інновація, економіка, процеси, трансформація.

Цифрова економіка - це сучасність. На сьогодні ми можемо бачити стрімкий ріст розвитку соціальних мереж, ринку смартфонів, ширококутного доступу до Інтернету, технологій машинного навчання і штучного інтелекту. І ці процеси кардинально міняють роботу компаній. Власники та управлінці, змушені постійно навчатися, адаптуватись до нових тенденцій розвитку тому, що від цього залежить результативність їх бізнесу. Пристосовуватись до змін вони повинні або завойовуючи нові ніші, або трансформуючи вже існуючі. Так, що цифрова трансформація організацій це - реакція на розвиток і активне поширення по всьому світу нових інформаційних технологій [1].

Цифрова трансформація включає два основних напрями. Перший - це автоматизація та роботизація існуючих бізнес-процесів з метою зменшення людської участі в них. Другий - розширення системи управління для створення організацій, які можуть масштабуватися експоненційно, вдсятеро перевищуючи інші організації у тій же галузі [2].

На жаль, ми можемо стати свідками зникнення цілого ряду професій, не виключенням є професія економіста. Причиною таких змін стає автоматизація та роботизація бізнес-процесів.

У світі простежується зародження "економіки усіх нас". Підприємства, що провадять інновації сфокусовані у сфері роздрібної торгівлі, фінансових послуг та економічної галузі. Наприклад, роздрібні магазини використовують аналіз соціальних мереж, щоб створити індивідуальні пропозиції для покупців. Банки спільно з інтернет-компаніями розробляють цифрові рішення для зручних фінансових операцій. Навіть традиційні галузі, такі як видобуток нафти і газу, використовують цифрову технологію, аналізуючи дані з безпілотних літальних апаратів та використовуючи обробку великих обсягів даних для прогнозування критичних ситуацій [2].

Сьогодні ми спостерігаємо радикальні зміни в економіці, які кардинально змінюють стосунки між учасниками ринку. Завдяки Інтернету речей, ми спостерігаємо злиття всіх гравців ринку - від компаній до споживачів, а також продуктів, послуг і процесів в єдиний цифровий світ. Ця трансформація відбувається за рахунок нових "цифрових екосистем", які об'єднують виробників, платформи, додатки, виробників пристроїв і постачальників послуг.

Цифрова економіка призводить до нових ефектів, пов'язаних з трансформацією економічних відносин, основаних на інформації. Це означає, що з'являється багато моделей поведінки, що ґрунтуються на даних, які часто не відповідають стандартам щодо повноти та достовірності. Також зростає кількість моделей, які використовують спотворену або навмисно змінену інформацію. Економічний опортунізм може призвести до зловживань даними про конкурентів, ринки та технології. Це також спричиняє збільшення кібереконімічних злочинів, які важко вимірювати традиційними методами. Ефективність виробництва тепер пов'язана зі швидкістю отримання та обробки даних [3].

Для успішного розвитку економіки в епоху цифрової трансформації ключовим є людина з компетенціями у сфері нових технологій, здатна до досліджень, впровадження і удосконалення.

Засновник Всесвітнього економічного форуму, Клаус Шваб, наголошує, що у майбутньому з'явиться багато нових професій і спеціальностей, які будуть формуватися не лише під впливом четвертої промислової революції, але й під впливом інших факторів, таких як демографічні зміни, геополітичні трансформації і нові соціокультурні реалії. Тому дефіцит кваліфікованих працівників, а не обсяг капіталу, стане головним обмеженням для інновацій, конкурентоспроможності та зростання економіки [4].

Отже, сучасний світ переживає глибокі зміни, які впливають на всі аспекти життя. Цифрова трансформація значно змінює способи навчання, але залишає за собою ряд проблем, таких як нерівність у доступі до технологій, погіршення якості освіти і комерціалізація освіти. Надзвичайно важливо зосередити увагу на використанні інформаційно-комунікативних технологій для покращення якості та доступності освіти, а також для забезпечення рівних можливостей у навчанні. Це є необхідним для досягнення амбітних цілей, які суспільство ставить перед собою. У світі, де людина стає центральним елементом цифрової економіки, освіта стає не просто громадським благом і правом людини, але і стратегічним пріоритетом для розвитку суспільства, який допомагає справлятися зі складними викликами і «запускати майбутнє» в умовах глибоких цивілізаційних змін. Професія економіста зазнає значних змін, проте буде актуальною завжди.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сірко А. В. Нові можливості та виклики для суспільства і держави. Економіка. Реалії цифрової економіки.: електрон. наук. фахове вид. 2020. № 11. URL: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/11_2020/17.pdf (дата звернення: 17.10.2023).
2. Пищуліна О. Дві сторони цифрових технологій."Цифрова диктатура" або збереження стійкості.: електрон. вид. 2019 року. URL:<https://razumkov.org.ua/statti/dvi-storony-tsyfrovykh-tekhnologii-tsyfrova-dyktatura-abo-zberezhennia-stiikosti>
3. Тюрин О.В., Максимов О.С.,Максимова Ю. О. Актуальні проблеми цифрової економіки. Наукові записки Одеського національного університету імені І.І. Мечинкова. Серія «Економіка». 2019. С. 50. URL: http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/26308/1/Tsyfrov%D0%B0_Ekonomik%D0%B0.pdf
4. Олешко Т. І. , Касьянова Н. В., Цифрова економіка: підруч. К. : НАУ, 2022. – 200с URL: <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/54129/1/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BA%D0%B0.pdf>

УДК 651.3:518.5

Грозан О.О., Климах Н.І.

Державний торговельно-економічний університет

E-mail: o.hrozyan.femp.051.20@knute.edu.ua

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ЯК НАПРЯМОК ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА

Діджиталізація – це глибинне проникнення цифрових та інноваційних технологій до бізнес-процесів, господарства, комунікацій. Перехід економіки до ери цифрових можливостей привело до необхідності діджиталізації управлінських процесів, запровадження цифрових продуктів з метою задоволення попиту на ринку. Проведемо аналіз чому потрібно впроваджувати діджиталізацію галузі свого виробництва, запровадити цифрові товари та послуги. Для розвитку та запровадження діджиталізації управлінці підприємства повинні вжити заходів у певних напрямках:

- розробка технічних і економічних вимог до інформаційно-комунікаційних технологій і засобів їхньої реалізації;
- фінансове та ресурсне забезпечення щодо впровадження нововведень;
- збільшення клієнтської бази та підвищення якості інформування їх і персоналу;
- розвиток доступу до міжнародних інформаційних ресурсів з метою глобального планування стратегії розвитку компанії;

- введення нових структур для інформування та зворотного зв'язку;
- підготовка персоналу.

Процес діджиталізації характеризується трансформацією, впровадженням цифрових технологій з метою оптимізації та автоматизації бізнес-процесів, покращення комунікаційних зв'язків із споживачами та підвищення ефективності господарської діяльності.

Ключові слова: діджиталізація, інновація, бізнес, процеси, інформація, діджитал.

У сучасному світі, охопленому технологічними змінами, діджиталізація стає ключовим напрямком інноваційного розвитку підприємств. Цей процес перетворює традиційні бізнес-моделі, надаючи компаніям нові можливості для ефективного управління ресурсами, підвищення конкурентоспроможності та створення умов для сталого росту. Діджиталізація не лише впроваджує сучасні технології, але й сприяє трансформації корпоративної культури, висуваючи нові вимоги до лідерства та стратегічного мислення в умовах цифровізації.

Діджиталізація, у контексті економічного виміру, представляє інноваційний розвиток, виявляючись у технічних новаціях для цифровізації ключових економічних процесів. Це включає автоматизацію та винесення людського фактору за межі управлінського фокусу, спрямоване на зменшення помилок та підвищення продуктивності праці. Термін "діджиталізація" походить від оцифрування і означає перенесення інформації у цифрову форму [1].

Необхідність у діджиталізації визначається прагненням до підвищення конкурентоспроможності та виживання бізнес-організацій в умовах сучасної економіки.

Діджиталізація бізнесу – постійний процес, оскільки впроваджене програмне забезпечення потрібно систематично оновлювати та вдосконалювати, враховуючи нові технологічні тенденції. Проте для успішних підприємств цифрова трансформація стає необхідною складовою.

Перехід до цифровізації трансформації має важливі аспекти, як: зовнішня комунікація; бізнес-модель; проектні процеси; бережливе виробництво; робота з даними (цифрова трансформація використовує *deep machine learning* та штучний інтелект для прийняття рішень в умовах неповної інформації); внутрішні комунікації і взаємини (важливо переосмислити роботу з людьми, враховуючи віддалену роботу, аутсорсинг і фріланс) [2].

Цифрова трансформація - це переосмислення всіх аспектів бізнесу та перехід до нових інструментів у різних сферах економіки та суспільства.

Фінансовий аналітик або експерт з аналізу даних відіграють важливу роль у забезпеченні управління інформацією на підприємстві. Перша сфера, що змінюється при цифровій трансформації - це обробка інформації [3]. Якщо всі дані про діяльність компанії будуть збережені в електронному форматі, то за допомогою сучасного програмного забезпечення аналіз фінансової та нефінансової звітності буде проводитися оперативніше, з врахуванням економічних, екологічних і соціальних аспектів. Це відкриває нові можливості для розширення аналітичної роботи.

Можна визначити такі переваги діджиталізації для бізнесу: розширення можливостей; автоматизація і покращення обслуговування; аналітика для коригування діяльності; зниження втрат і підвищення лояльності; ефективні інструменти для взаємодії з клієнтами [4].

Є і слабкі сторони впровадження інновацій, це: неготовність певних груп покупців; необхідність продуманої взаємодії; необхідність живої консультації; тривалість та вартість впровадження; нестача кваліфікованих працівників [4].

Більшість підприємств, що працюють з використанням інтернету зараз використовують різні цифрові технології для поліпшення своєї роботи. Задля успішної інновації можна впроваджувати використання таких технологій:

1. Штучний інтелект (ШІ). Автоматизує управління даними, поліпшує продуктивність та забезпечує персоналізовані пропозиції для клієнтів.
2. CRM-система. Допомагає зберігати інформацію про клієнтів та покращує можливості продажу.
3. PIM-система. Автоматизує додавання контенту на сайт, швидко виводить продукцію на вітрину.
4. Чат-боти та роботизовані системи консультування. Надають цілодобову допомогу та полегшують комунікацію з клієнтами.
5. Доповнена реальність (AR). Дозволяє віртуально приміряти та демонструвати товари.

Багато компаній уже використовують бізнес-аналітику та системи для обробки великих обсягів інформації та обслуговування клієнтів. Це лише частина інструментів, які можуть покращити бізнес при впровадженні цифрових рішень.

Діджиталізація – ключовий шлях для інноваційного розвитку підприємства. Вона дозволяє адаптуватися до змін, використовувати нові цифрові можливості, підвищувати якість продуктів та послуг, оптимізувати ресурси, забезпечувати глобальну конкурентоспроможність та підвищувати прибутковість. Україна має потенціал для покращення свого рівня діджиталізації, залучаючи інвестиції, використовуючи досвід країн-лідерів та розвиваючи цифрову інфраструктуру, освіту та культуру.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мігус, І. П., & Коваль, Я. С. (2021). Інноваційний розвиток підприємств в умовах діджиталізації економіки. Вчені записки Університету «КРОК», (2 (62)), 159-165.
2. Zhosan, H. (2020). Стан розвитку діджиталізації в Україні. Економічний аналіз, 30(1 (2)), 44-52.
3. Король, С. Я., & Польовик, Є. В. (2019). Діджиталізація економіки як фактор професійного розвитку.
4. Швиданенко, Г. О., Швиданенко, Г. А., Теплюк, М. А., & Теплюк, М. А. (2018). Діджиталізація—сучасний напрямок розвитку інноваційного підприємництва.

УДК 621.382

М. М. Євсюк, П. Ф. Баховський, І. О. Бандура, О. В. Волосовець, Р. І. Цьось

Луцький національний технічний університет

E-mail: m.yevsiuk@lutsk-ntu.com.ua

ОКРЕМІ АСПЕКТИ АНАЛІТИЧНОГО ОБЗОРУ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ МАЛОГО РАДІУСУ ДІЇ

В роботі зроблений огляд різновидів сучасних стандартів бездротової мережі Wi-Fi, зокрема IEEE 802.11n, 802.11ac, 802.11ax та 802.11be. Проведений аналіз їх технічних параметрів, функціональних можливостей, наведено їх порівняльні характеристики.

Ключові слова: бездротова мережа, радіочастота, радіоканал, пропускна здатність, модуляція, Wi-Fi.

M. Yevsyuk, P. Bachovskyi, I. Bandura, O. Volosovets, R. Separate aspects of the analytical survey of the possibilities and perspectives of a short-range wireless network. The paper provides an overview of modern Wi-Fi standards, including IEEE 802.11n, 802.11ac, 802.11ax, 802.11be. An analysis of their technical parameters, functional capabilities, and comparative characteristics are provided.

Keywords: wireless network, radio frequency, radio channel, bandwidth, modulation, Wi-Fi.

Постановка проблеми. Ми живемо в епоху Інтернету, стрімкого розвитку бездротових мереж малого радіусу дії, які оточують нас вдома, в офісі, кафе і т.д.. Зазвичай їх просто називають Wi-Fi мережами, хоча стандартів цієї технології багато. Деякі з стандартів Wi-Fi вже застаріли і не забезпечують необхідної швидкості трафіку, пропускної здатності каналу зв'язку і продуктивності для більшості сучасних додатків. В реальних умовах такі бездротові мережі вже важко справляються з поставленими завданнями. І причина не в тому, що в існуючих стандартах не вистачає швидкості передачі даних. Просто бездротових пристроїв у користувача стало набагато більше і теоретичних показників на практиці досягти не вдається через вимушене очікування, поки звільниться середовище передачі, взаємного впливу розташованих точок доступу тощо. Ця проблема ускладнюється з часом. Тому при виборі телекомунікаційного обладнання необхідно звернути увагу на підтримувану ним версію стандарту Wi-Fi з метою забезпечення необхідної ефективності бездротової мережі.

Основна частина. Wi-Fi, є скороченням від Wireless Fidelity, - це технологія бездротової передачі даних, яка використовується для підключення пристроїв до локальної мережі та Інтернету.

На даний час в мережах радіодоступу Wi-Fi України найбільш розповсюджені стандарти 802.11n, 802.11ac, 802.11ax.

Стандарт 802.11n (Wi-Fi 4 відповідно до номенклатури Wi-Fi Alliance) прийнятий у 2009 році. Основні технічні характеристики стандарту наведені у таблиці 1. Стандарт забезпечує швидкість

з'єднання 150 Мбіт/с на частоті 2,4 ГГц і 600 Мбіт/с на 5 ГГц. У 802.11n підтримується чотири просторові потоки (4×4 MIMO) і ширина каналу 40 МГц. Про цей стандарт є вже достатньо багато інформації і напрацювань, зокрема і в [1-3]. Він є актуальним ще для багатьох користувацьких пристроїв, однак вже відноситься до «застарілих».

Стандарт 802.11ac (Wi-Fi 5 відповідно до номенклатури Wi-Fi Alliance) - стандарт бездротового Інтернету ратифікований у 2014 році. Основні технічні характеристики стандарту наведені у табл. 1. Теоретична максимальна швидкість 802.11ac - вісім каналів 160 МГц 256-QAM, кожний з яких здатен видати 866,7 Мбіт/с - тобто загалом 6933 Мбіт/с (майже 7 Гбіт/с) на частоті 5 ГГц (табл. 1) [4].

Використання радіочастоти лише 5 ГГц, зменшує проникаючу здатність та радіус дії мережі. Даний компроміс пов'язаний із переважанням смуги 2,4 ГГц та недостатньою спектральною пропускну здатністю для забезпечення швидкості 802.11ac в декілька гігабіт.

Збільшення пропускну здатності досягається за рахунок модуляції 256-QAM (для порівняння з 64-QAM в 802.11n), яка стискає 256 різних сигналів на одній частоті, зміщуючи їх фази. Теоретично це підвищує спектральну ефективність 802.11ac в чотири рази у порівнянні з 802.11n [4].

Важливим фактором стандарту 802.11ac є потужність передавання пристрою та якість їх антен для підтримання технології MIMO та MU-MIMO (багатокористувацьке планування, що дозволяє взаємодіяти маршрутизаторам з декількома користувачами одночасно).

Таблиця 1 - Технічні характеристики стандартів 802.11n, 802.11ac, 802.11ax

Параметр стандарту	Стандарт та його характеристики		
	802.11n	802.11ac	802.11ax
Робоча частота	2.4ГГц & 5ГГц	5ГГц	2.4ГГц & 5ГГц, spanning to 1ГГц – 7ГГц
Ширина смуги каналу	20МГц, 40МГц	20МГц, 40МГц, 80МГц, 80+80МГц & 160МГц	20МГц/40МГц @ 2.4ГГц, 80МГц, 80+80МГц & 160МГц @ 5ГГц
Кількість піднесівних	64, 128	64, 128, 256, 512	64, 128, 256, 512, 1024, 2048
Рознесення піднесівних	312,5кГц	312,5кГц	78,125 кГц
Тривалість символу і циклічного префіксу	3,6 мкс (короткий захисний інтервал) 4 мкс (довгий захисний інтервал)	3,2 мкс (0,4/0,8 мс циклічний префікс)	12,8 мкс (0,8/1,6/3,2 мкс циклічний префікс)
Тип модуляції і швидкість кодування	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6	1024-QAM, 5/6
Кодування сигналу	6 Біт на символ	8 Біт на символ	10 Біт на символ
Швидкість передачі даних	від 150 Мбіт/с до 600 Мбіт/с (max 4 просторових потоки)	433 Мбіт/с (80МГц, 1 просторовий потік) 6933 Мбіт/с (160МГц, 8 просторових потоків)	600 Мбіт/с (80МГц, 1 просторовий потік) 9607,8 Мбіт/с (160МГц, 8 просторових потоків)
Технології MIMO	SU-MIMO-OFDM	SU-MIMO-OFDM Wave 1, MU-MIMO-OFDM Wave 2	MU-MIMO-OFDMA

Стандарт 802.11ac вводить стандартизовану технологію формування променю сигналу до користувача Beamforming (в 802.11n вона не була стандартизована, що могло спричинити проблеми несумісності роботи пристроїв). Формування променю - передача радіосигналів здійснюється таким чином, що вони направлені на конкретні пристрої, що збільшує пропускну здатність і робить її послідовною, а також знижує споживання електроенергії. Формування променю здійснюється смарт-антенами, які відслідковують переміщення пристроїв, або ж шляхом модуляції амплітуди і фази сигналів, щоб в результаті інтерференції формувався вузький промінь.

Стандарт 802.11ac, як і попередні версії 802.11, повністю сумісний з 802.11n, тобто встановивши роутер стандарту 802.11ac він буде працювати із «старішими» Wi-Fi пристроями. Тому для випадку, коли потрібна максимальна продуктивність та надійність бездротової мережі, 802.11ac є дуже привабливим варіантом, який має достатню смугу пропускання для бездротової передачі контенту високої роздільної здатності до комп'ютера або телевізора.

Стандарт 802.11ax позиціонує як високоефективний і часто в інформаційних джерелах позначається Wi-Fi 6 – відповідно до номенклатури встановленої Wi-Fi Alliance.

Загалом Wi-Fi 6 базується на стандарті 802.11ac, в якому було оновлено понад 50 спеціалізованих технічних рішень, які актуальні як для внутрішніх так і зовнішніх абонентів мережі. Технічно Wi-Fi 6 забезпечить окремому користувачеві приблизно на 40% більшу швидкість передачі даних у порівнянні з 802.11ac, але що ще важливіше – нові специфікації обіцяють кожному користувачеві в чотири рази більшу пропускну здатність у багатолюдних місцях (тобто в умовах високої щільності роботи бездротових пристроїв), а також підвищену енергетичну ефективність, яка забезпечить збільшення часу автономної роботи пристрою [6]. Це досягається за рахунок застосування в 802.11ax низки нових технічних рішень, у тому числі кількох технологій паралельного підключення багатьох користувачів, а саме – MU-MIMO та OFDMA. Ці технології, запозичені зі стільникової індустрії, значно підвищують пропускну здатність каналу зв'язку і продуктивність мережі, забезпечуючи більшу кількість одночасних підключень і ефективне використання виділеного діапазону.

Технологія Color Code BBS, дозволяє розпізнавати мережу за принципом «свій-чужий» при обміні даними між роутером з іншими пристроями всередині мережі Wi-Fi.

У стандартах 802.11 запроваджено поняття «віртуальної зайнятості середовища» (механізм NAV – Network Allocation Vector). У версіях Wi-Fi 4 і Wi-Fi 5 визначення віртуальної зайнятості середовища не залежить від того, до якої мережі належить пристрій, що знаходиться в зоні обслуговування мережі. Користувач у кадрі має значення NAV. Wi-Fi 6 навчився визначати, з якої мережі ведеться передача – зі своєї чи чужої. На основі цих даних пристрій може змінювати значення NAV і підлаштовувати потужність передавача, змінюючи пороги чутливості [6].

Стандарт 802.11ax дозволяє підприємствам і надавачам послуг підтримувати нові програми, що з'являються, в одній і тій же інфраструктурі бездротової локальної мережі (WLAN), забезпечуючи при цьому високий рівень обслуговування для старіших програм.

Wi-Fi 6 буде особливо актуальним у місцях з високим навантаженням на мережу і, зрештою, на думку експертів, відіграє важливу роль у закладанні фундаменту нової «розумної» інфраструктури, що включає, наприклад, пристрої, що взаємодіють в рамках концепції Internet of Things (IoT). Крім забезпечення паралельної адресної взаємодії безлічі різноманітних пристроїв і мереж, що становить суть концепції IoT, специфікації стандарту Wi-Fi 6 розраховані на задоволення вимог до швидкості передачі даних, що зростають, при одночасному підключенні багатьох користувачів.

Еволюцію технічних можливостей Wi-Fi мережі поколінь 4, 5, 6 представлено на рисунку 1.

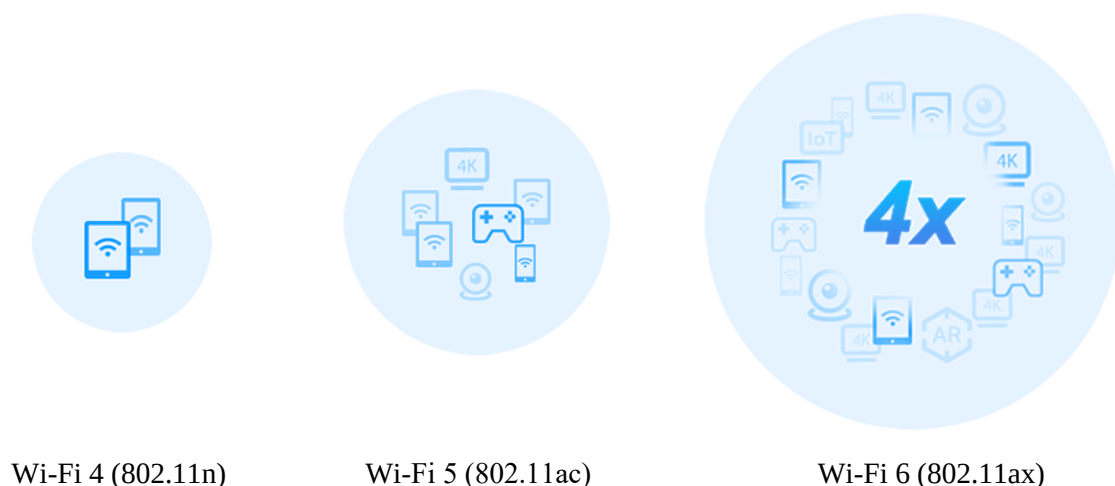


Рис. 1 - Еволюція технічних можливостей Wi-Fi мережі

У майбутньому на нас чекає новий протокол бездротової передачі даних Wi-Fi 7 або IEEE 802.11be. У стандарті 802.11be максимальна швидкість зв'язку становитиме 1376 – 46120 Мбіт/с, також планується збільшити рівень придушення перешкод і ширину каналів до 320 МГц. Крім того, чим більше під'єднано клієнтських Wi-Fi пристроїв, тим більше потрібне мультиплексування (ущільнення каналу зв'язку) [7]. Він працюватиме з технологією CMU-MIMO, що дозволяє підтримувати роботу одночасно 16 потоків даних. Крім традиційних смуг 2,4 ГГц та 5 ГГц, Wi-Fi 7 також буде підтримувати смугу частот 6 ГГц. Усі три смуги частот можуть працювати одночасно. Теоретична максимальна швидкість передачі Wi-Fi 7 може досягати 30 Гбіт/с, що втричі перевищує максимальну швидкість 9,6 Гбіт/с для Wi-Fi 6 [8].

Нове покоління бездротового зв'язку дасть змогу значно скоротити затримки під час передавання даних. А значить під час гри ви не вилетите з місії, картинка не буде зависати, а спілкування з іншими геймерами не перерветься під час важливого рейду.

Розробка поправки до 802.11be триває.

Висновки. Існуючі версії мережі Wi-Fi, мають свої особливості та обмеження. Новіші версії Wi-Fi мають вищу швидкість, ширшу область покриття сигналу та ефективніше керування енергоспоживанням, ніж старіші версії. При виборі мережевого телекомунікаційного обладнання, рекомендується вибрати пристрій або обладнання, що підтримує останню версію Wi-Fi, щоб мати максимальну продуктивність та швидкість на перспективу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гладчук Р. М., Савюк Т. В. Розвиток Wi-Fi технологій на базі стандарту 802.11. Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Випуск 34. Луцьк : IBV 2019.
2. Останні поправки та схвалення стандарту 802.11. URL: <https://www.ieee802.org/11/> (дата звернення 15.11.2023 р.).
3. Базові положення стандарту IEEE 802.11n для мереж Wi-Fi URL: <https://help.keenetic.com/hc/uk/articles/213968809-%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%96-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D1%83-IEEE-802-11n-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6-Wi-Fi> (дата звернення 18.11.2023 р.).
4. Стандарт 802.11ac URL: <https://ntools.com.ua/information/faq/standart-802-11-ac-cto-eto> (дата звернення 20.11.2023 р.).
5. Базові положення стандарту IEEE 802.11ac для мереж Wi-Fi URL: <https://help.keenetic.com/hc/uk/articles/213968949-%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%96-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D1%83-IEEE-802-11ac->

%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6-Wi-Fi- (дата звернення 20.11.2023 р.).

6. Переваги стандарту 802.11ax і порівняльний аналіз з 802.11 URL: <https://nettech.ua/news/preimutshestva-noveyshego-standarta-802-11ax-i-sravnitelnyy-analiz-s-802-11> (дата звернення 20.11.2023 р.).

7. Технологія Wi-Fi 7 URL: <https://itechua.com/articles/211705> (дата звернення 21.11.2023 р.).

8. Проект стандарту IEEE IEEE 802.11be URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/> (дата звернення 21.11.2023 р.).

УДК 004.896 (075.8) : 621.391.175

І. С. Кондіус, В. П. Кравець, К. Ю. Кондіус

Луцький національний технічний університет

СТРУКТУРИЗАЦІЯ НЕСТРУКТУРОВАНОЇ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

В даній роботі проведено дослідження та проаналізовано засоби, що забезпечують автоматизацію процесу побудови онтологій і застосування онтологій на практиці. Для цього було досліджено та проаналізовано існуючі технології побудови онтологій предметної області, що дало можливість запропонувати шляхи використання онтологій для обробки природної мови. А також представлена експериментальна робота додатка, який працює з командами на природній мові.

Ключові слова: онтології, онтологія навчання, NLP, RDF, OWL, витяг інформації, witai.

I. Kondius, V. Kravets, K. Kondius. Lutsk National Technical University.

In this work, research was carried out and methods were analyzed to ensure automation of the ontology generation process and ontology development in practice. For this purpose, existing technologies and ontologies of the subject area were researched and analyzed, which made it possible to establish ways of using ontologies for processing natural language. An experimental robotic extension is also presented, which works with commands in natural language.

Keywords Ontology, ontology learning, NLP, RDF, OWL, knowledge extraction, witai.

Постановка проблеми.

У суспільстві постійно зростає роль інформаційних технологій у науці, виробництві та управлінні. Щороку багаторазово збільшуються обсяги інформаційних потоків, що призводить до необхідності пошуку нових способів зберігання, представлення, формалізації, систематизації та автоматичного оброблення інформації в комп'ютерних системах. Онтології забезпечують зв'язне системне уявлення ієрархії та змісту системи понять, що охоплюють предметну область. Формалізоване уявлення понятійної структури предметної галузі в онтології дозволяє виконувати автоматичну обробку онтологічної інформації.

На даний момент побудова онтологій все ще залишається ресурсом і трудомістким процесом. Тому будь-які техніки, що допомагають у побудові та підтримці онтологій, зменшують їхню вартість.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Термін «онтологія» має довгу історію у філософії, де він ще з часів Аристотеля позначав науку про буття. Предметом онтології виступало самі собою сутності, в рамках цього розділу філософії виділялися базові категорії та загальні властивості, типи сутностей. Як синонім терміна «онтологія» в його філософському розумінні часто використовується термін «метафізика». Термін «онтологія» був запропонований Рудольфом Гокленіусом в 1613 році в його «Філософському словнику» (Lexicon philosophicum, quo tanquam clave philisophiae fores aperiunter. Francofurti), і трохи пізніше Йоганом Клаубергом в 1656 році в роботі Metaphysika de ente, quae rectus Ontosophia, запропонувавши його (у варіанті «онтософія») як еквівалент поняття «метафізика». У практичному вживанні термін був закріплений Християном фон Вольфом, який явно розділив семантику термінів «онтологія» та «метафізика» [1]. Питання подання знань у когнітології, інформатиці та дослідженнях штучного інтелекту розглянуті в [2].

Велике значення у своїх дослідженнях [3] приділяв створенню додаткового функціоналу онтології навчання, що включає еволюцію, аргументацію та оцінку. Спільний підхід до вибору методів оцінки, що включає як формальні методи (логічний аналіз, порівняння з джерелами даних), так і експертні оцінки, опитування користувачів і так далі представлений в роботі. В результаті, спільнота комп'ютерних лінгвістів запропонувала широкий спектр складніших технік вилучення термінів [3].

Створенням лексичної бази даних, яка опрацьовувала запити природною мовою займався [4]. Техніки лінгвістичного аналізу, які можуть бути застосовані для успадкування змістовних описів концепцій у вигляді опису природною мовою запропоновані в [5].

У кінцевому підсумку, комбінація кількох методів та експертних думок може надати повний і об'єктивний взгляд на якість навчених онтологій представлені в [6].

Нарешті, тісніша інтеграція лексичних і логічних підходів навчання онтології будуть потрібні для того, щоб уникнути проблем, що виходять з різних семантичних інтерпретацій, наприклад лексичних і онтологічних відносин. Перший підхід до вирішення цієї проблеми – фреймворк RELEXO, який поєднує лексичний підхід до отримання комплексних описів класів з техніками розвідки відносин, що базуються на FCA [7].

Постановка завдань.

Інформаційні системи, засновані на онтологіях, продемонстрували свою ефективність у реальних умовах, і зацікавленість у їх використанні постійно зростає. Проте існуючі методи створення онтологій вимагають високого рівня експертних знань у конкретній предметній області, а сам процес побудови онтологій, заснований на цих методах, забирає значний час. Тому нагальною задачею є автоматизація цього процесу. Обмежуючим фактором для поширення технологій, що використовують онтологічні моделі, є низький рівень розробки формалізованих та автоматизованих процедур формування структур онтологій та відсутність відповідних програмних інструментів. Таким чином, проблема відсутності засобів для автоматичної та автоматизованої побудови онтологій потребує подальшого дослідження та аналіз засобів, що забезпечують автоматизацію процесу побудови онтологій та застосування онтологій на практиці.

Викладення основного матеріалу.

Навчання онтологій – це інтегрована область, яка взаємодіє з багатьма різними науками, такими як машинне навчання, обробка природної мови, інтелектуальний аналіз даних і репрезентація знань. Ця область постійно розвивається і залучає увагу вчених і фахівців з усього світу.

Класифікація онтологій. Онтологія верхнього рівня, зазначена на рисунку 1, спрямована на розробку єдиної «правильної» онтології, яка систематизує загальні знання, що охоплюють декілька предметних областей і може використовуватися в різних ситуаціях. На сучасний момент існують декілька великих онтологій верхнього рівня, таких як Cyc, DOLCE, SUMO, онтологія Джона Сови (J.Sowa) та інші. Однак спроби створити універсальну онтологію верхнього рівня, яка акумулювала б усі можливі варіанти життя, наразі не призвели до очікуваних результатів. Багато онтологій верхнього рівня подібні між собою і включають однакові концепти, такі як сутність, явище, процес, об'єкт, роль, простір, час, матерія, подія, дія тощо.

Онтологія предметної області, відома також як онтологія домену, має аналогічні цілі з онтологією верхнього рівня, але її зосередження обмежено конкретною предметною областю (або доменом), такою як авіація, медицина, культура, дистанційне навчання, Інтернет-технології. Онтологія предметної області узагальнює поняття, які мають важливість для визначеної області, уникаючи конкретних завдань у цій сфері. Наприклад, онтологія автомобілів може бути незалежною від конкретних особливостей окремих марок автомобілів.

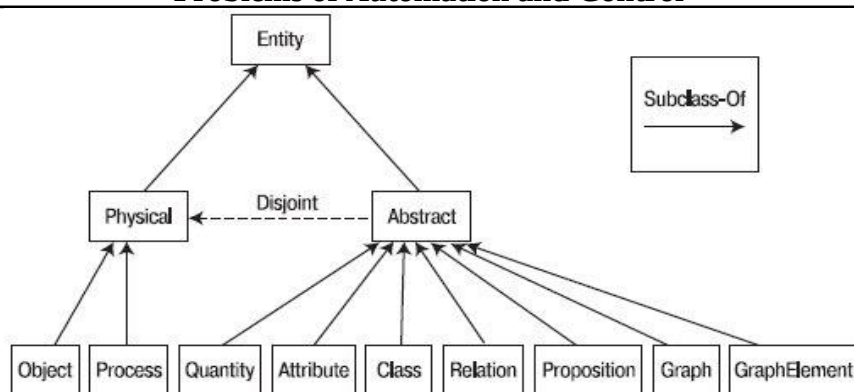


Рисунок 1 – Онтологія верхнього рівня

У багатьох наукових дисциплінах на даний момент розробляються стандартні онтології, які можуть використовуватися експертами в конкретних предметних областях для спільного використання та анотування інформації у своїй галузі. На рисунку 2 наведений приклад онтології представлення.

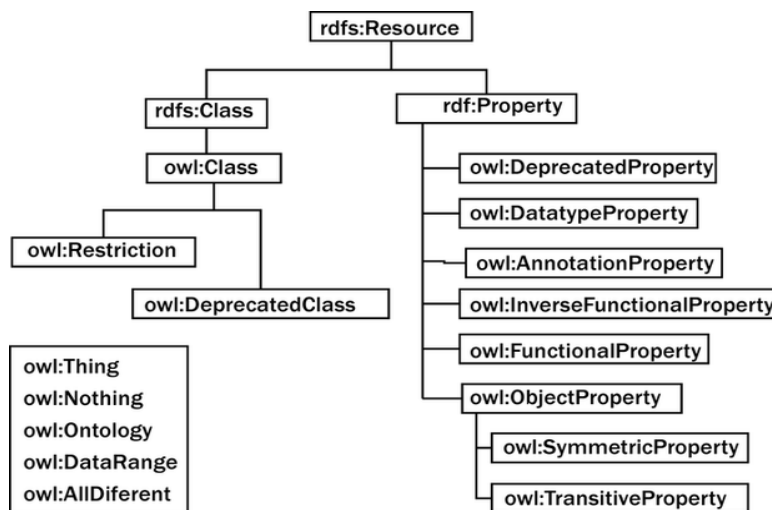


Рисунок 2 – Приклад онтології представлення

Виділяю чотири основні типи онтологій [1]:

1. Мета-онтології описують найзагальніші поняття, які не залежать від конкретних предметних областей. Вони встановлюють універсальні основи для побудови онтологічних структур та визначають загальні принципи, які застосовуються незалежно від контексту.

2. Онтології предметної області представляють собою формальний опис конкретної сфери знань. Вони допомагають уточнити поняття, визначені в мета-онтології (якщо використовується), або ж встановлюють загальну термінологічну базу для даної предметної області.

3. Онтології конкретного завдання описують загальну термінологічну базу для конкретної задачі чи проблеми. Вони фокусуються на уточненні понять та відносин, які мають значення для вирішення певної конкретної проблеми чи завдання.

4. Мережеві онтології часто використовуються для опису кінцевих результатів дій, виконаних об'єктами в межах певної предметної області чи задачі. Вони надають структуроване представлення взаємодій та залежностей між об'єктами в мережі, відображаючи взаємодії та їхні впливи на власне завдання чи предметну область.

Онтології активно використовуються в різних сферах, які займаються обробкою даних за допомогою природної мови. Цей розповсюджений використовуваний підхід вимагає розробки стандартизованих методів подання онтологій. У зв'язку з цим були розроблені різні мови, такі як RDF та OWL, які можуть застосовуватися в різних системах. Крім того, існує безліч редакторів для створення, розширення та зміни онтологій. Кожен з цих інструментів спеціалізується на роботі з конкретним форматом даних і має свої особливості.

Онтології вирішують широкий спектр завдань у різних галузях діяльності. Серед найважливіших можливостей використання онтологій варто відзначити наступні аспекти:

1. Semantic Web (семантична мережа). Онтології використовуються для створення семантичного (онтологічного) опису Інтернет-ресурсів, забезпечуючи доступність цих даних для пошукових агентів та інших програмних засобів.

2. Інформаційний пошук. За допомогою онтологій можливе розширення та спеціалізація запитів, що дозволяє підвищити релевантність та повноту отриманих відповідей під час пошуку інформації.

3. Інтеграція різнорідних джерел даних. Онтології використовуються для концептуальної інтеграції різних джерел даних, спрощуючи завдання пошуку та аналізу інформації.

4. Обробка текстів природною мовою. Застосування онтологій для моделювання предметних областей полегшує розуміння та обробку текстової інформації за допомогою систем обробки природної мови.

Такі системи, базовані на онтологіях, активно впроваджуються в різних галузях, таких як захист навколишнього середовища, медицина, промисловість, регіональне управління, право тощо, з метою вирішення різноманітних завдань та оптимізації обробки інформації в цих областях.

Онтологія навчання включає завдання отримання інформації та напівавтоматичного вилучення понять та відносин з масивів даних для формування онтології. Інженери онтологій користуються утилітами для управління онтологіями, які спрощують імпорт, перегляд, зміну, версіонування та розвиток онтологій. Проте основна роль компонентів управління полягає в тому, щоб надати інтерфейс між онтологією та алгоритмами навчання. Під час вивчення нових концепцій, відносин чи аксіом, алгоритми навчання додають їх до моделі онтології за допомогою прикладного програмного інтерфейсу (API) утиліт управління онтологіями. Таким чином, API управління онтологією повинен містити методи для створення нових концепцій, відносин, аксіом тощо.

Важливо розуміти, що, незважаючи на складнощі, пов'язані з навчанням онтологій, це дійсно захоплюючий напрямок досліджень, який має великий потенціал для застосування в реальних задачах. Розвиток нових методів інтелектуального аналізу даних та штучного інтелекту може значно полегшити та прискорити процес навчання онтологій.

Дійсно, майбутні роботи повинні спрямовуватися на створення нових інтуїтивних і ефективних інструментів для навчання онтологій, які були б дружніми в плані інтерфейсу, інтуїтивно зрозумілими і легко інтегрувалися б в існуючі методології інженерії онтологій. Ці інструменти можуть значно полегшити завдання інженерів зі створення складних та експресивних онтологій, що можуть служити основою для вирішення різних реальних завдань у сфері обробки інформації та штучного інтелекту.

Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) – це дуже важлива галузь штучного інтелекту та математичної лінгвістики. Вона дозволяє комп'ютерам розуміти, інтерпретувати та відтворювати людську мову. Основна складність полягає у тому, що природна мова, яку використовують люди у щоденному спілкуванні, дуже варіативна та залежить від контексту.

Однією з ключових проблем NLP є амбігівність мови. Багатозначність слів, фраз та синтаксичних конструкцій може призвести до різних інтерпретацій, в залежності від контексту вживання. Це стає проблемою при розробці систем машинного навчання та обробки природної мови, оскільки важко створити алгоритми, які можуть однозначно розрізняти всі можливі варіанти значень.

Додаткову складність вносять різні діалекти, мовні особливості, сленг, а також граматичні та синтаксичні відмінності між мовами та їх контекстами вживання. Тому розробка ефективних методів обробки природної мови – це виклик для дослідників в цій області та має великий потенціал для подальших досліджень.

Перший етап компіляції програмного коду, коли вихідна послідовність символів аналізується та розбивається на лексеми або токени є основним принципом лексичного аналізу в інформатиці. Лексеми є синтаксичними одиницями, які можна ідентифікувати на основі правил конкретної мови програмування.

Схема роботи лексичного аналізатора представлена на рисунку 3.

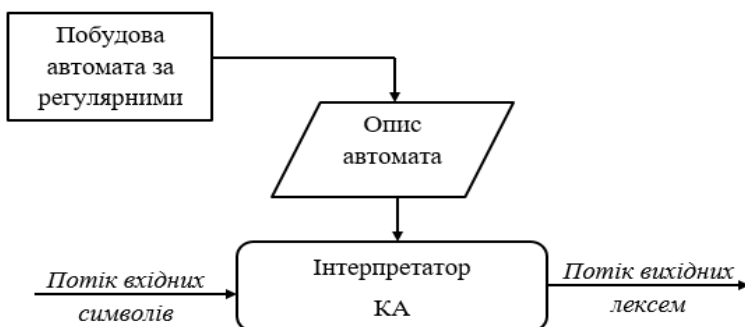


Рисунок 3 – Схема роботи лексичного аналізатора

Лексичний аналіз може бути реалізований за допомогою регулярних виразів та автоматів, які визначають правила для розпізнавання різних лексем. Цей процес є одним із ключових компонентів компіляторів та інших інструментів розробки програмного забезпечення.

Синтаксичний аналіз в лінгвістиці та інформатиці є ключовим етапом обробки тексту. Його основна мета – перевірити, чи відповідає послідовність лексем вихідної програми (або речення) граматиці мови. Це забезпечує визначення правильної структури речення або програми, що є важливим для подальшого аналізу та виконання.

Синтаксичний аналіз в інформатиці часто використовується в компіляторах для перетворення вихідного тексту програми на внутрішнє представлення, таке як синтаксичне дерево чи інші структури даних, які далі використовуються для оптимізації, генерації коду або інших завдань компіляції.

Ефективні синтаксичні аналізатори можуть значно полегшити процес створення мов програмування, адже вони дозволяють автоматизувати перевірку коректності вихідного коду, забезпечуючи тим самим надійність та стабільність програмних продуктів.

Синтаксичний аналізатор виконує ключову роль в компіляції та інших областях обробки мов програмування. Він використовує правила, визначені в контекстно-вільній граматиці мови програмування, для перевірки та розбору вихідного тексту програми. Результатом його роботи є синтаксична структура програми, подана у вигляді дерева залежностей або іншої відповідної структури даних.

Це дерево може бути використане для подальшої оптимізації, генерації виконавчого коду або інших задач обробки програм. Синтаксичний аналізатор допомагає забезпечити, що вихідний код програми відповідає правильній синтаксичній структурі, що є ключовим кроком у компіляційному процесі.

На рисунку 4 наведений приклад синтаксичного аналізу речення.

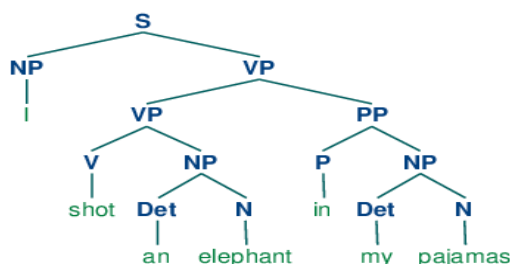


Рисунок 4 – Приклад синтаксичного аналізу речення

Синтаксичний аналіз речення «I shot an elephant in my pajamas» може бути представлений у вигляді дерева розбору (парсингу) наступним чином:

У цьому дереві розбору:

– «I» є суб'єктом (Subject) дії «shot».

– «shot» є дієсловом (Verb) у реченні.

– «an elephant» є об'єктом (Direct Object) дії «shot». «an» є артиклем (Article) перед іменником «elephant».

– «in my pajamas» є обставиною визначеністю (Prepositional Phrase) у реченні. «in» є прийменником (Preposition), «my» є займенником (Possessive Pronoun), і «pajamas» є іменником (Noun).

Це дерево розбору ілюструє синтаксичну структуру речення, показуючи взаємозв'язки між словами та фразами у реченні «I shot an elephant in my pajamas».

Семантичний аналіз тексту включає в себе виявлення семантичного ядра тексту – ключових слів або фраз, що несуть основне значення повідомлення. Це також включає в себе вивчення структури тексту та аналіз способів, якими слова та фрази взаємодіють, щоб виражати ідеї та концепції.

Семантичний аналіз тексту може бути важливим у багатьох контекстах, включаючи мовний аналіз, комп'ютерні науки (зокрема в області обробки природної мови), а також в гуманітарних науках для вивчення текстів різних жанрів та стилів. Цей аналіз може виявити загальні теми тексту, стосунки між концепціями, а також вираження та виявлення тонких відтінків смислу в мовленні.

Вилучення інформації (Information Extraction, IE) – це ключова задача в області обробки природної мови, яка включає в себе автоматизований процес аналізу тексту для виділення корисної інформації з нього. Цей процес може бути спрямований на виділення конкретних фактів, подій, зв'язків, назв, дат та інших важливих елементів інформації з тексту.

Сучасні методи вилучення інформації використовують техніки машинного навчання, особливо навчання з учителем, для розв'язання цієї задачі. Для цього використовуються різноманітні методи, включаючи правила на основі шаблонів, методи машинного навчання, такі як класифікація та позначення послідовностей (sequence labeling), а також глибоке навчання (deep learning), зокрема рекурентні нейронні мережі та трансформери.

Вилучення інформації з текстових даних, особливо в контексті неструктурованих корпусів, залишається складною задачею через ряд викликів.

1. Низька частота іменованих сутностей. Іменовані сутності, такі як конкретні особи, місця або події, можуть зустрічатися рідко в тексті, особливо великому корпусі. Це ускладнює процес їх вилучення, оскільки багато алгоритмів IE вимагають достатньої кількості входжень для навчання або ефективної роботи.

2. Відкритість класу. Визначення, які саме іменовані сутності включати в список для вилучення, може бути відкритою проблемою. У світі постійно з'являються нові іменовані сутності, і ці списки повинні бути постійно оновлюваними.

3. Проблема омонімії. Омонімічні слова або фрази, які можуть мати кілька різних значень, ускладнюють вилучення інформації. Визначення правильного контексту для омонімічних термінів може бути нетривіальною задачею.

4. Невизначеність часових меж. В багатьох випадках, особливо в текстах, що не мають чітких дат, часові рамки можуть бути вказані нечітко («в дитинстві», «у минулому столітті»), що ускладнює точне визначення часових обмежень для подій чи фактів.

5. Для вирішення цих проблем дослідники використовують різноманітні методи, такі як використання контекстуальних інформаційних джерел (наприклад, з інтернету), застосування машинного навчання для вилучення знань з текстів, а також використання онтологій та семантичних баз даних для вдосконалення процесу ідентифікації та вилучення інформації.

Розглянемо прикладне застосування онтології як частини технологічного стека. В якості мови вибрано програмування Python, т. я. є велика кількість електронних матеріалів для роботи з NLP, включаю бібліотеку NLTK (Natural Language Processing Toolkit).

Основний додаток розвернуто на Google App Engine, що позбавляє від необхідності його адміністрування та складних налаштувань. Google App Engine містить безліч сервісів, сховище даних, зручний менеджмент, підтримує автоматичне горизонтальне масштабування.

Для реалізації програмної частини використовувалися NLTK і мінімалістичний веб-фреймворк Flask.

Для роботи і навчання онтології буде застосовуватися веб-сервіс Witai. Сервіс повністю безкоштовний, але на деяких умовах угоди користувача надаються всі розроблені онтології в користуванні сервісом.

Загальна ідея додатка – дати користувачеві можливість відправити текстові команди у вигляді запропонованих природною мовою та формувати відповідь на основі запиту. У додатку реалізовано кілька субмоделей функціоналу – такі як погода, нагадування, побудова маршруту з точки А в точку Б. Для генерації тексту відповіді використовується простий алгоритм, створений на шаблонах. Для обробки мовлення використовується вбудований додаток у WitAI, в якому діапазон розпізнаваних сутностей штучно обмежений функцією субмоделей. У подальшому планується розширити функціональність генерації.

На рисунку 5 представлений інтерфейс користувача WITAI.

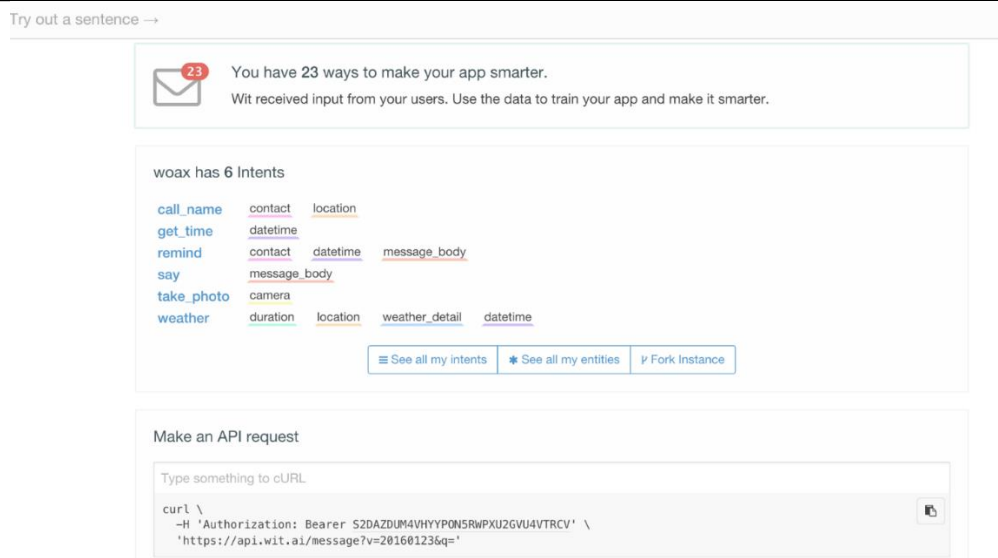


Рисунок 5 – Інтерфейс користувача WITAI

Для реалізації програми використовували мову програмування Python, а саме мікрофреймворк Flask. Flask є модульним фреймворком, що дозволяє не прив'язуватись до певного патерну, динамічно додавати нові модулі з розвитком проекту.

Для роботи з GAE потрібно визначити точки входу в API та конфігурацію для розгорнення програми (app.yaml) (рис. 6):

```
application: woax-backend-gae
version: 1
runtime: python27
api_version: 1
threadsafe: yes

handlers:
- url: .*
  script: main.app

libraries:
- name: jinja2
  version: "2.6"
- name: markupsafe
  version: "0.15"
- name: ssl
  version: latest
```

Рисунок 6 – Конфігурація для GAE

Приклад роботи програми.

Так як додаток створювалося у вигляді API, в ньому відсутній графічний інтерфейс. Для тестування роботи потрібно використовувати утиліти для формування та надсилення запитів. У прикладах використовуватимемо CURL.

Приклад запиту:

curl --user test:test --data '{"sq': 'What time is it?'}' -X POST http://woax-backend.appspot.com/process_command

Відповідь:

{"status": "success", "result": "Currently it's half past 10"}

Запит:

curl -H 'Content-Type: application/json' -X POST -u test:test -d '{"sq": "What's the weather in Barseelona today", "location": {"lat": 50.4500, "lon": 30.5233}}' http://woax-backend.appspot.com/process_command/process_command

Відповідь:

{"status": "success", "result": "It's cloudy outside, the temperature is 10 degrees celcius"}

Як можна побачити, використання онтологій у програмах для роботи з природною мовою (Natural Language Processing, NLP) має безліч переваг і стає все більш популярним в індустрії.

Онтології дозволяють системам зрозуміти смислові зв'язки між словами, термінами і концепціями, що полегшує розуміння користувацьких запитань та взаємодію з ними.

Додатки для роботи з природною мовою, які використовують онтології, можуть бути навчені на нових запитаннях за допомогою адміністратора. Це означає, що системи можуть постійно вдосконалюватися, додавати нові концепції, реагувати на специфічні запитання аудиторії та удосконалювати якість відповідей.

Графічний інтерфейс та веб-орієнтованість додатків роблять процес корекції та вдосконалення онтологій дуже зручним і дозволяють команді інженерів працювати віддалено, спільно редагуючи та вдосконалюючи систему. Це підвищує ефективність та швидкість розробки та впровадження нових функцій у програми для роботи з природною мовою.

Висновки. Розглянуто технології та методи побудови онтологій, автоматизації цього процесу, застосування онтологій. Було описано поняття, пов'язані з обробкою природної мови та онтологіями, розглянуто методи структуризації текстів за допомогою онтологій та побудови онтологій за допомогою методів NLP. Під час дослідження було реалізовано програмний додаток, що реалізує інтерфейс для роботи з сучасним засобом обробки текстової інформації, що представляє відповіді на текстові запити користувача у вигляді того ж тексту природною мовою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Онтологія. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Онтология>. (Дата звернення 20.08.2023 р.)
2. Подання знань. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (Дата звернення 20.08.2023 р.).
3. Steffen Staab, Rudi Studer. Handbook on Ontologies. 2018. №4. 135 p.
4. About wordnet URL: <https://wordnet.princeton.edu>. (Дата звернення 28.09.2023 р.)
5. J. Iria, An incremental tri-partite approach to ontology learning. In Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference. 2019 Pp. 22-26
6. Christopher Brewster, Data driven ontology evaluation. In Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference. 2020 Pp. 164-168.
7. Вилучення інформації URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Дата звернення 20.09.2023 р.)

УДК 004.93

Малієнко С.Є., Селівьорстова Т.В.

Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

E-mail: malienko.mpmr@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В МЕТОДАХ ОБРОБКИ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розглядається використання інформаційного аналізу в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж. Інформаційний аналіз дозволяє виявляти в даних приховані закономірності, які можуть бути використані для підвищення ефективності роботи нейронних мереж. В цій статті виділяють три основні напрями використання інформаційного аналізу в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж.

Вибір ознак. Інформаційний аналіз може бути використаний для вибору найбільш інформативних ознак з набору даних. Це дозволяє нейронним мережам краще навчатися і підвищувати точність своїх прогнозів.

- **Створення нейронної мережі.** Інформаційний аналіз може бути використаний для вибору оптимальної архітектури та параметрів нейронної мережі. Це дозволяє нейронним мережам бути більш ефективними і адаптивними до змін в даних.

- **Навчання нейронної мережі.** Інформаційний аналіз може бути використаний для розробки нових методів навчання нейронних мереж, які дозволяють підвищувати їхню ефективність.

Автори статті наводять приклади використання інформаційного аналізу в задачах прогнозування, класифікації та розпізнавання образів. Вони також обговорюють перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

Ключові слова: інформаційний аналіз, нейронні мережі, обробка даних, прогнозування, класифікація, розпізнавання образів.

Maliienko Stanislav, Selivorstova Tatyana. The use of information analysis in big data processing methods using neural networks. The article discusses the use of information analysis in data processing methods using neural networks. Information analysis allows you to identify hidden patterns in data that can be used to improve the efficiency of neural networks.

The authors of the article identify three main areas of using information analysis in data processing methods using neural networks.

Feature selection. Information analysis can be used to select the most informative features from a data set. This allows neural networks to learn better and improve the accuracy of their predictions.

Creating a neural network. Information analysis can be used to select the optimal architecture and parameters of a neural network. This allows neural networks to be more efficient and adaptable to changes in data.

Training a neural network. Information analysis can be used to develop new methods for training neural networks that improve their efficiency.

The authors of the article provide examples of using information analysis in tasks such as forecasting, classification, and image recognition. They also discuss the prospects for further research in this area.

Keywords: machine learning, data mining, feature extraction, architecture of neural networks

Постановка проблеми. Нейронні мережі є потужним інструментом, який можна використовувати для розв'язання різноманітних завдань, таких як класифікація, прогнозування та розпізнавання образів. Однак ефективність роботи нейронних мереж багато в чому залежить від якості даних, на яких вони навчаються.

Дані, що використовуються для навчання нейронних мереж, можуть бути дуже великими і складними. Вони можуть містити шум, помилки та викиди. Крім того, дані можуть бути незбалансованими, що може призвести до перенавчання нейронної мережі.

Огляд актуальних досліджень з проблеми. Одним із напрямків розвитку нейронних мереж для обробки даних є використання інформаційного аналізу. Інформаційний аналіз дозволяє виявити в даних приховані закономірності, які можуть бути використані для підвищення ефективності роботи нейронних мереж. Для вибору ознак можна використовувати різні методи, засновані на інформаційному аналізі. Одним із найпоширеніших методів є метод евристичного вибору ознак. Цей метод заснований на використанні евристичних правил, які дозволяють оцінити важливість ознак.

Іншим поширеним методом вибору ознак є метод статистичного вибору ознак. Цей метод заснований на використанні статистичних методів, таких як кореляційний аналіз, дисперсійний аналіз та факторний аналіз.

Дослідження в області вибору ознак за допомогою інформаційного аналізу спрямовані на розробку нових методів, які дозволяють підвищувати точність вибору ознак. Наприклад, у статті Майкла Макконела "Noise Removal for Deep Learning"[1] розглядається метод евристичного вибору ознак, заснований на використанні метрики інформаційної ентропії. Метрика інформаційної ентропії міряє ступінь невизначеності в розподілі ймовірностей. У даному випадку ознака вважається інформативною, якщо вона має низьку інформаційну ентропію.

Іншим поширеним методом вибору ознак є метод статистичного вибору ознак. Цей метод заснований на використанні статистичних методів, таких як кореляційний аналіз, дисперсійний аналіз та факторний аналіз.

В інших статтях розглядається метод статистичного вибору ознак, заснований на використанні кореляційного аналізу. В статті "A survey on feature selection for deep learning. ACM Computing Surveys"[2] розглядається кореляційний метод аналізу з якого можна зробити висновки, що цей метод дозволяє визначити кореляцію між ознаками. Якщо між двома ознаками існує сильна кореляція, то одна з цих ознак може бути видалена з набору даних, не втрачаючи при цьому інформації.

Дослідження в області вибору ознак за допомогою інформаційного аналізу спрямовані на розробку нових методів, які дозволяють підвищувати точність вибору ознак.

Мета статті. Мета цієї статті - дати огляд методів аналізу датасетів перед використанням у нейронних мережах. У статті розглядаються різні методи, які можуть бути використані для розв'язання таких проблем, як усунення шуму і помилок, балансування даних і виділення ознак.

Аналіз датасетів перед використанням у нейронних мережах є важливим етапом, який дає змогу підвищити точність і ефективність роботи нейронної мережі. Шум і помилки в даних можуть призвести до зниження точності роботи нейронної мережі. Незбалансовані дані можуть призвести

до перенавчання нейронної мережі. Виділення ознак дає змогу підвищити ефективність роботи нейронної мережі, оскільки дає змогу нейронній мережі зосередитися на найважливіших ознаках для розв'язання завдання.

Інформаційний аналіз в методах обробки даних. Інформаційний аналіз в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж може бути використаний для вирішення завдань вибору ознак.

Вибір ознак - це процес відбору з набору даних найбільш інформативних ознак. Інформаційний аналіз дозволяє виявити в даних ті ознаки, які мають найбільший вплив на результат вирішення задачі.

Існує ряд методів вибору ознак, які можуть бути використані з нейронними мережами. Одним із найпоширеніших методів є метод евристичного вибору ознак. Цей метод заснований на використанні евристичних правил, які дозволяють оцінити важливість ознак.

Іншим поширеним методом вибору ознак є метод статистичного вибору ознак. Цей метод заснований на використанні статистичних методів, таких як кореляційний аналіз, дисперсійний аналіз та факторний аналіз.

Створення нейронної мережі - це процес визначення її архітектури та параметрів. Інформаційний аналіз може бути використаний для вибору оптимальної архітектури та параметрів нейронної мережі.

При виборі архітектури нейронної мережі необхідно враховувати такі фактори, як розмір набору даних, складність задачі та доступні ресурси. Інформаційний аналіз може бути використаний для оцінки оптимальної кількості нейронів у кожному шарі нейронної мережі.

При виборі параметрів нейронної мережі необхідно враховувати такі фактори, як швидкість навчання, точність навчання та стійкість до шуму. Інформаційний аналіз може бути використаний для оцінки оптимальних значень параметрів нейронної мережі.

Одним із напрямів використання інформаційного аналізу в навчанні нейронних мереж є методи адаптивного навчання. Ці методи дозволяють нейронній мережі автоматично адаптуватися до змін в даних.

Основою методів адаптивного навчання є використання інформаційної метрики. Інформаційна метрика - це міра того, наскільки інформація в наборі даних є корисною для навчання нейронної мережі.

При кожному етапі навчання нейронної мережі інформаційна метрика обчислюється для кожного нейрона мережі. Якщо інформаційна метрика для певного нейрона є низькою, то цей нейрон може бути видалений з мережі.

Методи адаптивного навчання дозволяють нейронним мережам навчатися на наборах даних, які змінюються з часом. Це робить нейронні мережі більш придатними для вирішення задач, де дані постійно оновлюються.

Інші напрями використання інформаційного аналізу в навчанні нейронних мереж

Інформаційний аналіз може бути використаний для розробки нових методів навчання нейронних мереж, які дозволяють підвищити їхню ефективність.

Одним із таких методів є метод навчання з підсиленням. Цей метод дозволяє нейронній мережі навчатися на основі власних помилок.

Висновки. Використання інформаційного аналізу в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж є перспективним напрямком досліджень. Це дозволяє підвищити точність і ефективність роботи нейронних мереж, а також зробити їх більш адаптивними до змін в даних.

У подальших дослідженнях необхідно розробляти нові методи використання інформаційного аналізу в методах обробки даних за допомогою нейронних мереж. Зокрема, необхідно розробляти методи автоматичного вибору ознак, що покращить процес відокремлення даних, автоматичного створення нейронної мережі та навчання нейронної мережі. Це зробить процес розробки більш надійним простішим у використанні.

Також необхідно проводити дослідження ефективності використання інформаційного аналізу в різних задачах обробки даних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Macconel S., Zhang, Z., Zhang, Y., & Wang, F. (2018). Шумозаглушення для глибинного навчання. arXiv preprint arXiv:1802.03582.
2. Zhu, X., & Wu, Y. (2018). Огляд вибору ознак для глибинного навчання. ACM Computing Surveys, 51(4), 89.

3. Guo, Y., Li, J., & Zhang, Z. (2018). Підготовка даних для глибинного навчання: огляд. arXiv preprint arXiv:1801.07628.
4. Zhang, Z., Zhang, Y., & Wang, F. (2018). Підготовка даних для глибинного навчання: приклад на основі обробки природної мови. arXiv preprint arXiv:1803.08885.
5. Wang, Z., & Li, T. (2020). Огляд вибору ознак для глибинного навчання. Журнал інтелектуальних інформаційних систем, 55(2), 273-296.
6. Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: техніка надмірного відбору синтетичних меншин. Журнал досліджень штучного інтелекту, 16, 321-357.
7. Bartolini, A., & Roli, F. (2022). Підготовка даних для глибинного навчання: огляд. IEEE Signal Processing Magazine, 39(2), 18-35.
8. Sánchez-Rada, M., & García-Osorio, A. (2021). Огляд підготовки даних для глибинного навчання. ACM Computing Surveys, 54(2), 1-35.

УДК 651.3:518.5

М.А. Оніщук, Л.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

НАДІЙНІСТЬ ТА АНАЛІТИКА В TRAFFIC ARBITRAGE, ОСНОВИ ТА УПРАВЛІННЯ AFFILIATE MARKETING У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

В даній роботі розглянуто питання потенціалу та користі партнерського маркетингу, арбітражу трафіку та можливостей як на ньому заробити. Виконано дослідження статистичного арбітражного ринку в медійній RTB-рекламі. Запропоновано спільну оптимізаційну структуру для максимізації очікуваного арбітражного чистого прибутку з обмеженнями на бюджет і ризик. Надійна аналітика дозволяє виявляти проблеми та вирішувати їх своєчасно, що забезпечує стабільність та зростання бізнесу. Це також допомагає управляти ризиками та адаптуватися до змін на ринку.

Ключові слова: Affiliate Marketing, Traffic Arbitrage, статистичний арбітраж, партнерський маркетинг.

M. Onishchuk, L.Gumeniuk. Reliability and analytics in Traffic Arbitrage, basics and management of Affiliate Marketing on the Internet. This paper discusses the potential and benefits of affiliate marketing, traffic arbitrage, and how to make money on it. A study of the statistical arbitrage market in RTB advertising has been carried out. A joint optimization framework is proposed to maximize the expected arbitrage net profit with budget and risk constraints. Reliable analytics allows you to identify problems and solve them in a timely manner, which ensures business stability and growth. It also helps to manage risks and adapt to changes in the market.

Keywords: Affiliate Marketing, Traffic Arbitrage, statistical arbitrage, affiliate marketing.

Постановка проблеми. «Половина грошей, які я витрачаю на рекламу, витрачається даремно, проблема в тому, що я не знаю, яка саме половина» – Джон Ванамейкер. Популярна цитата Джона Ванамейкера, сеньйора в галузі реклами та маркетингу, ілюструє, наскільки складно було кількісно оцінити реакцію та ефективність реклами ще сто років тому [1].

За останні двадцять років розвиток всесвітньої мережі Інтернет докорінно змінив цю ситуацію, забезпечивши ефективний механізм зворотного зв'язку для визначення реакції через спостереження за пошуковими запитами користувачів, навігаційними патернами, кліками, конверсіями тощо.

Партнерський маркетинг є інструментом просування продукту або послуги іншої компанії в Інтернеті. Він також відомий як “Affiliate Marketing” або арбітраж трафіку (“Traffic Arbitrage”). Цей інструмент є дуже перспективним для інтернет-бізнесу та залишається одним з найприбутковіших варіантів.

Арбітраж трафіку полягає у купівлі дешевого трафіку на одному ресурсі та продажу його дорожче на іншому. Це може бути дуже прибутковим, якщо правильно планувати кампанії та вибирати правильні ресурси для купівлі та продажу трафіку. Однак, це також може бути ризикованим, оскільки не завжди можна передбачити поведінку ринку. Тому важливо мати глибоке

розуміння структури та досвід у плануванні кампаній. З правильною стратегією арбітраж трафіку може принести значний прибуток.

Надійність є важливим аспектом у арбітражі трафіку та в аналітиці. Вона дозволяє точно вимірювати ефективність кампаній та робити обґрунтовані рішення щодо оптимізації. Це означає, що можна краще розуміти, як трафік конвертується у продажі або доходи, та використовувати цю інформацію для покращення стратегії. Крім того, надійна аналітика дозволяє виявляти тенденції та зміни у поведінці користувачів. Це може допомогти прогнозувати зміни на ринку та адаптуватися до них своєчасно. Таким чином, можна планувати кампанії з більшою впевненістю та зменшувати ризик.

Нещодавно торги в реальному часі (RTB) стали новим словом в Інтернет-рекламі. Вони імітують біржі та використовують комп'ютери для програмної купівлі медійної реклами в режимі реального часу та за показ через механізм ринку між покупцями (рекламодавцями) та продавцями (видавцями).

Така автоматизація не лише підвищує ефективність і масштаби процесу купівлі серед безлічі доступних товарів, але, що найважливіше, заохочує рекламну кампанію, орієнтований на ефективність, заснований на цільових кліках, конверсіях тощо, використовуючи дані про аудиторію в режимі реального часу. Як наслідок, покази реклами стають все більш і більш товарними в тому сенсі, що ефективність (якість) показу реклами більше не залежить від того, де вона куплена або кому вона належить, а залежить від того, наскільки вона принесе користь цільовій аудиторії (наприклад, задоволеності користувачів Інтернету та їхніх прямих потребам-бажанням).

Згідно з гіпотезою ефективного ринку (ЕМН) у фінансах, на ідеально "ефективному" ринку ціни на цінні папери (наприклад, акції) повинні повністю відображати всю доступну інформацію в будь-який момент часу. Таким чином, не існує жодної можливості для арбітражу, тобто не можна ні купити цінні папери, які коштують більше, ніж ціна продажу, ні продати цінні папери, які коштують менше, ніж ціна продажу, без здійснення більш ризикованої інвестиції. Однак через значну фрагментарність, непрозорість рекламних ринків та існування різних типів оголошень, наприклад, спонсорованого пошуку, медійних оголошень, афілійованих мереж, а також схем ціноутворення, наприклад, ціна за мільйон показів (СРМ), ціна за клік (СРС), ціна за дію (СРА), рекламні ринки не є ефективними з інформаційної точки зору. Іншими словами, дві можливості показу зі схожими або ідентичними цільовими аудиторіями та частотою відвідування можуть продаватися за зовсім різними цінами [2].

Основна частина. Арбітражні ситуації. Хоча використання таких цінових розбіжностей все ще залишається дискусійним питанням у рекламній сфері, існують наступні чотири арбітражні ситуації.

1. *Міжбіржовий арбітраж.* Існує багато бірж оголошень. Оскільки попит і пропозиція різняться на різних біржах для одних і тих же типів користувачів або правил таргетингу, існують посередницькі агентства, які виступають в ролі покупця з низькою ставкою на біржі А і в ролі продавця з високою резервною ціною на біржі Б з метою отримання прибутку.

2. *Гарантоване постачання та арбітраж на спотовому ринку.* Деякі платформи на стороні попиту (DSP) пропонують рекламодавцям контракти з гарантованою доставкою, купуючи при цьому рекламні ресурси на біржі RTB за негарантованими спотовими цінами. І навпаки, деякі рекламні агенції заздалегідь купують інвентар оптом за фіксованими "преференційними цінами" на приватних майданчиках, а потім стягують з клієнтів плату за їхні кампанії за спотовими цінами [3].

3. *Арбітраж обсягу вводу/виводу видавця.* Видавець може купувати трафік на свою вебсторінку і згодом заробляти на рекламі більше, ніж початкова вартість вхідних кліків.

4. *Арбітраж цінових схем.* У RTB різні контрагенти надають перевагу різним схемам ціноутворення, щоб зменшити ризик дефіциту. СРМ зазвичай використовується на RTB-аукціонах і надається перевагу паблішерам, оскільки вона, ймовірно, генерує стабільний дохід від обсягу сайту. На противагу цьому, рекламодавці, які зосереджуються на результативності, швидше за все, дотримуватимуться схем ціноутворення СРА та СРС, оскільки вони безпосередньо пов'язані з рентабельністю інвестицій (ROI). Таким чином, якщо витрати на конверсію користувача за ціною за клік менші, ніж ціна за клік, агент(партнер) може отримати позитивний прибуток [4].

Дане обговорення обмежується лише рекламою, орієнтованою на ефективність, та прямими відгуками, такими як кліки та конверсії, тоді як для окремих кампаній, вводиться поняття метатендера, який здійснює торги за портфель рекламних кампаній, подібно до хедж-фонду, що володіє набором дійсних активів на фінансових ринках. У моделі SAM функціональна оптимізація використовується для пошуку оптимальної функції торгів для максимізації очікуваного

арбітражного чистого прибутку, і портфельне рішення з управління ризиками використовується для перерозподілу обсягу торгів і бюджету між кількома кампаніями, щоб досягти компромісу між арбітражним ризиком і прибутковістю.

З наукової точки зору це становить великий інтерес, оскільки представляє новий тип проблеми інтелектуального аналізу великих даних, яка вимагає принципового математичного формулювання та нового обчислювального рішення для пошуку та використання можливостей арбітражу в рекламі, що демонструється в реальному часі. З комерційної та соціальної точки зору, принципові алгоритми рекламного арбітражу не лише забезпечать більш безперебійний та безризиковий бізнес, але й зроблять рекламні ринки більш прозорими та інформаційно ефективними шляхом об'єднання сегментованих ринків, щоб виправити неправильний розподіл ризиків та цін, і врешті-решт досягти рівноваги.

У роботі формулюється статистичний арбітражний аналіз (SAM) та представлене рішення в контексті медійної реклами. Він зосереджується на моделюванні розбіжностей між кампаніями на основі CPA та CPM, тоді як моделі арбітражу для решти випадків можуть бути отримані аналогічно. Досліджуваний арбітраж є стохастичним через невизначеність ринкового попиту/пропозиції та реакції користувачів. Розподіл ймовірностей чистого прибутку арбітражу від можливості показу реклами оцінюється за допомогою предикторів реакції користувачів та моделей прогнозування ринку ставок, навчених на історичних великомасштабних даних.

Торги в режимі реального часу. Торги в режимі реального часу (RTB) імітують біржові торги і використовують комп'ютери для алгоритмічної купівлі медійної реклами за показ на аукціоні в режимі реального часу. Незважаючи на нову систему аукціонів, рекламні ринки все ще залишаються інформаційно неефективними через значну фрагментарність ринкових майданчиків. Два покази зі схожою або однаковою ефективністю (наприклад, за показниками конверсії або кліків для цільової аудиторії) можуть продаватися за зовсім різними цінами на різних сегментах ринку або за різними ціновими схемами. Тут йдеться про нову парадигму інтелектуального аналізу даних, яка називається статистичний видобуток арбітражу (Statistical Arbitrage Mining, SAM) і фокусується на видобутку та використанні цінкових розбіжностей між двома схемами ціноутворення. По суті, SAMer - це торговець, який мінімізує ризики рекламодавців між кампаніями на основі CPA та CPM; він статистично оцінює потенційний прибуток та витрати для вхідного запиту на ставку CPM у порівнянні з портфелем кампаній CPA на основі оціночного коефіцієнта конверсії, позиції ставок та інших статистичних даних, отриманих з історичних даних. У SAM використовується і функціональна оптимізація для пошуку оптимальних ставок з метою максимізації очікуваного арбітражного чистого прибутку, і рішення з управління ризиками на основі портфеля для перерозподілу обсягу ставок і бюджету між кампаніями з метою досягнення компромісу між ризиком і прибутковістю. Спільна оптимізація обох компонентів з високою ефективністю, допоможуть мета-учаснику торгів успішно скористатися новими можливостями статистичного арбітражу в RTB.

Кроки та способи у використанні даних для арбітражу трафіку. Стійкі статистичні арбітражні стратегії відносяться до торгових стратегій, які дозволяють здійснювати прибуткову торгівлю в умовах невизначеності моделі. Представлена нова методологія дозволяє розглядати одночасно велику кількість базових даних і не залежить від ідентифікації коінтегрованих пар активів.

Є три основні способи арбітражу трафіку:

1. Перший - це біла лідогенерація, де оффери просуваються дозволеними способами, які не суперечать законодавству. Наприклад, можна перенаправити користувачів на сайт інтернет-магазину косметичних засобів, показуючи їх пропозиції.

2. Другий спосіб - сірий арбітраж трафіку - включає в себе невелику хитрість з боку веб-майстра, щоб спонукати користувача натиснути на креатив. Це може бути зроблено за допомогою лаконічних та інтригуючих оголошень з зображенням.

3. Третій спосіб - чорна лідогенерація - використовує будь-які методи для обману користувача. Це може включати спам, агресивну рекламу, клікандер та посилання на шкідливі або непристойні сайти.

Крок 1: Збір даних

Першим кроком у використанні даних для арбітражу трафіку є збір даних про джерела трафіку та платформи монетизації. Це може включати дані про вартість трафіку, демографічні дані аудиторії, коефіцієнти конверсії платформ монетизації та дохід, отриманий з кожного джерела. Для збору цих даних можна використовувати різні інструменти, такі як платформи веб-аналітики, програмне

забезпечення для управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM) і програмне забезпечення для відстеження реклами. Важливо переконатися, що дані, які збираються, точні та надійні, щоб приймати обґрунтовані рішення на їх основі.

Крок 2: Аналіз даних

Після збору даних про джерела трафіку та платформи монетизації, наступним кроком є аналіз цих даних, щоб визначити закономірності та тенденції. Це можна зробити за допомогою різних методів аналізу даних, таких як регресійний аналіз та кластеризація.

Наприклад, можна використовувати регресійний аналіз, щоб визначити, які фактори мають найбільший вплив на коефіцієнти конверсії. Кластеризація може допомогти сегментувати аудиторію на різні групи на основі їх поведінки та демографічних показників.

Крок 3: Розробка прогнозних моделей

На основі аналізу даних можна розробити прогнозні моделі для прогнозування майбутнього трафіку та доходу. Ці моделі можуть допомогти визначити, які джерела трафіку, ймовірно, принесуть найбільший дохід, а які платформи монетизації, ймовірно, матимуть найвищий коефіцієнт конверсії.

Для розробки цих моделей можна використовувати алгоритми машинного навчання та нейронні мережі. Ці алгоритми можуть допомогти визначити складні закономірності у даних, які було б важко виявити за допомогою традиційних статистичних методів [7].

Крок 4: Впровадження стратегій на основі даних

Маючи прогнозні моделі, можна впроваджувати керовані даними стратегії для оптимізації зусиль щодо арбітражу трафіку. Це може включати коригування стратегій призначення ставок для реклами з оплатою за клік, націлювання на конкретні демографічні групи за допомогою маркетингових зусиль контенту та вибір найприбутковіших платформ монетизації.

Важливо постійно відстежувати ефективність стратегій та вносити корективи за потреби. Це допомагає випереджати зміни на ринку та гарантувати максимізацію прибутків від арбітражу трафіку. Надійність відіграє вирішальну роль у цьому процесі. Збираючи та аналізуючи дані про джерела трафіку та платформи монетизації, розробляючи прогнозні моделі та впроваджуючи надійні керовані даними стратегії, можна максимізувати прибутки від арбітражу трафіку.

Рекламні майданчики. Рекламні майданчики - це платформи, де рекламодавці можуть розміщувати свої оголошення для просування своїх товарів або послуг. Існує безліч рекламних майданчиків, серед них: Google AdWords, Facebook Ads, Bing Ads, Yahoo Gemini та інші.

Рекламні майданчики дозволяють рекламодавцям досягти широкої аудиторії та залучити нових клієнтів. Вони також дозволяють налаштувати таргетинг на певну аудиторію за віком, статтю, географією та іншими параметрами. Це дозволяє рекламодавцям звертатися до своєї цільової аудиторії з більшою точністю та ефективністю.

Однак, рекламні майданчики також мають свої недоліки. Одним з них є висока конкуренція та високий рівень витрат на рекламу. Через велику кількість рекламодавців, ціни на ключові слова можуть бути дуже високими. Також можливо втратити багато грошей, якщо не правильно налаштувати кампанію.

Для уникнення цих проблем потрібне глибоке розуміння функціонування рекламних майданчиків та правильне планування кампаній. Рекламодавцям слід також постійно моніторити свої кампанії та оптимізувати їх для досягнення найкращих результатів.

Використання Google Ads може бути найкращим рішенням для бізнесу. Люди використовують Google для пошуку 3,5 мільярда разів на день. Кожен пошуковий запит пропонує можливість представити бренд більшій кількості користувачів. Це означає збільшення потенційних клієнтів, конверсій і продажів.

Тут на допомогу приходить Google Ads - це дозволяє рекламувати та просувати продукти та послуги, коли користувачі здійснюють пошук за релевантними ключовими словами. Якщо все зроблено правильно, це має потенціал для збільшення потенційних клієнтів і продажів.

Розглянемо, що таке Google Ads, як вони працюють, і розглянемо точний процес, за допомогою якого можна налаштувати рекламну кампанію.

Як працює Google Ads. Google Ads використовує модель оплати за клік (PPC), де маркетологи роблять ставки на конкретне ключове слово в Google, конкуруючи з іншими рекламодавцями. Ставки є максимальними, що означає максимальну суму, яку рекламодавець готовий заплатити за клік. Наприклад, якщо максимальна ставка рекламодавця становить 4 долари, а Google визначає ціну за клік у 2 долари, рекламодавець отримає місце для розміщення своєї реклами. Якщо ціна за клік перевищує 4 долари, рекламодавець не отримає місце для розміщення своєї реклами. Рекламодавці

також можуть встановити максимальний щоденний бюджет для своїх рекламних кампаній, що допомагає контролювати витрати та планувати бюджет.

Арбітражники мають три варіанти ставок:

- ціна за клік (CPC) – сума, яку рекламодавець платить, коли користувач натискає на оголошення;
- ціна за тисячу показів (CPM) – сума, яку рекламодавець платить за 1000 показів реклами;
- ціна за взаємодію (CPE) – сума, яку рекламодавець платить, коли користувач виконує певну дію з оголошенням, наприклад, підписується на список або переглядає відео.

Google використовує комбінацію ставки та показника якості оголошення для визначення розташування реклами на сторінці результатів пошуку.

Показник якості - це оцінка якості оголошень, ключових слів та цільових сторінок. Вищий показник якості може призвести до зниження цін та кращих позицій реклами. Коли користувач бачить оголошення та натискає на нього, арбітражник платить невелику плату за цей клік. Чим більше користувачів натискають на рекламу маркетолога, тим більша ймовірність, що вони досягнуть цілей реклами.

Bidi Google Ads. Існують різні типи оголошень Google, які можна використовувати у кампанії [5]:

- пошукова кампанія (Google Search);
- медійна кампанія (Google Display);
- торгова кампанія (Google Shopping);
- відеокампанія (Google Video);
- кампанія для додатків (Google UAC).

Пошукова кампанія – за допомогою пошуку Google людина, вводячи пошуковий запит, бачить саме ту рекламну пропозицію, яка його цікавить. Оголошення пошукової кампанії відображаються як текстові оголошення на сторінці результатів для ключового слова. Наприклад, оголошення пошукової кампанії за ключовим словом «laptops»:

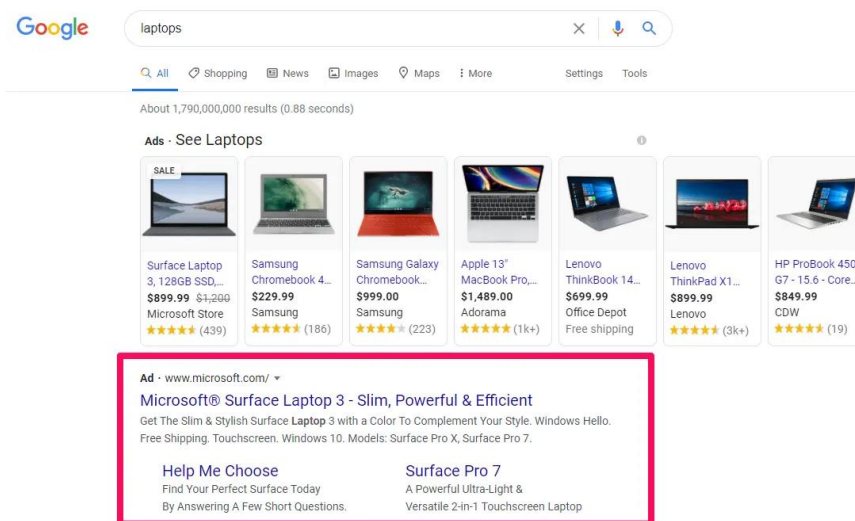


Рисунок 1 - Приклад оголошення пошукової кампанії за ключовим словом «laptops».

Текстові оголошення - це той тип оголошень у пошуковій мережі Google, який найбільш відомий. Вони з'являються на сторінці результатів пошуку з чорним символом «Ad» поруч із URL-адресою.

Медійна кампанія - Google використовує велику кількість веб-сайтів-партнерів для показу реклами на різних веб-сайтах у всьому Інтернеті. Існує безліч різних способів показу реклами, але головний - це показ на веб-сайті.

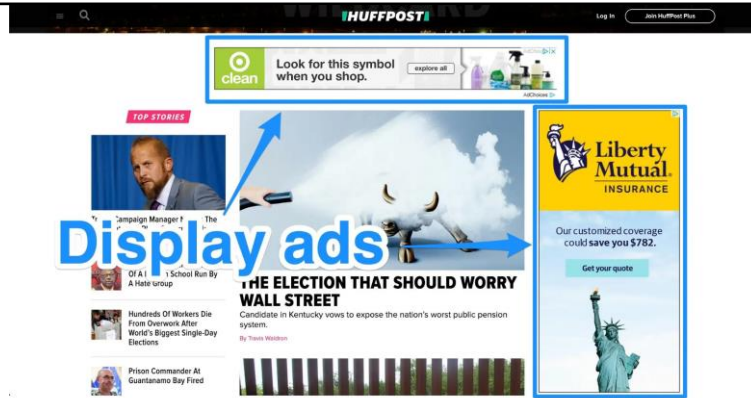


Рисунок 2 - Приклад оголошення показу реклами на веб-сайті.

Торгова кампанія - торгова кампанія Google дозволяє рекламувати продукти у візуальному форматі. Оголошення можуть відображатися як зображення на сторінці результатів пошуку. Це може бути корисним для реклами фізичних продуктів чи послуг, оскільки реклама Google Shopping може залучити кваліфікованих потенційних клієнтів і демонструючи продукт чи послугу безпосередньо клієнтам.

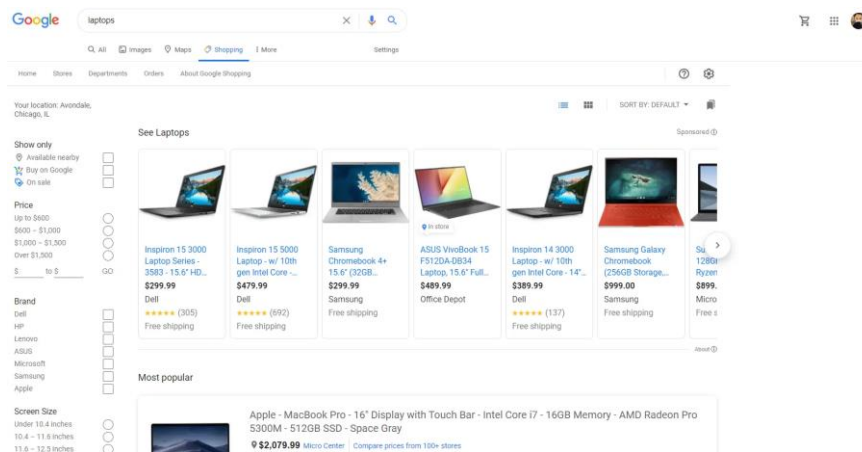


Рисунок 3 - Приклад реклами продукту у візуальному форматі.

Відеокампанія - це тип реклами, який з'являється на початку відео на YouTube. Google пропонує можливість вибрати окрему відеорекламу замість більш широкої реклами в Медійній мережі. Це може бути ідеальним варіантом для тих, хто має чудову ідею відеореклами. Оголошення відеокампанії мають різні форми, такі як відеореклама, яку можна пропустити або не пропустити, а також оголошення Discovery, які з'являються на сторінці результатів пошуку за певними ключовими словами.

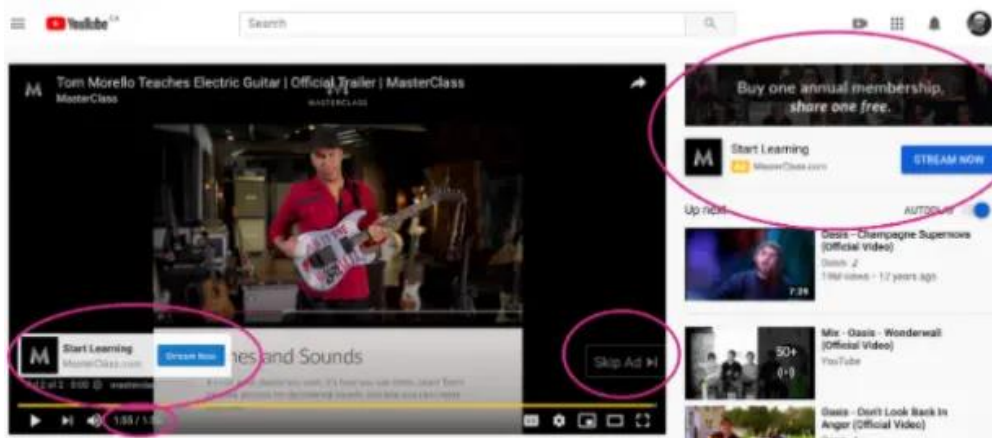


Рисунок 4 - Приклад оголошення відеокампанії.

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

Кампанія для додатків - найбільш обговорюваним джерелом є UAC. Це окремий світ, який працює виключно з просуванням мобільних додатків. Замість розробки кожного окремого оголошення додатка, Google використовує текст та активи, такі як фотографії, для створення оголошення. Алгоритм перевіряє різні комбінації активів і частіше використовує ту, яка є найкращою. Вартість реклами залежить від багатьох факторів [6].

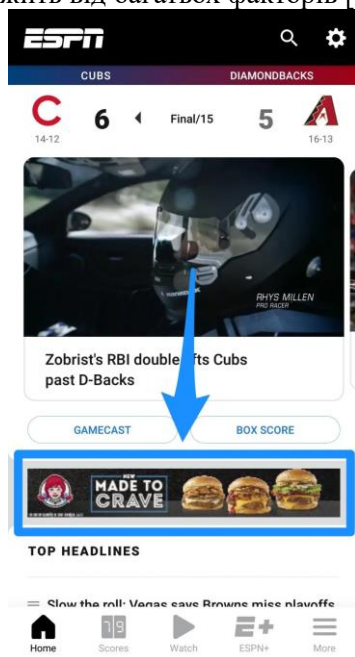


Рисунок 5 - Приклад рекламної кампанії для додатків UAC.

Як налаштувати рекламну кампанію в Google. Один з практичних підходів до створення оголошення Google полягає у введенні платіжної інформації в Google Ads. Якщо це ще не зроблено, потрібно перейти на інформаційну панель Google Ads, натиснути “Tools & Settings”, потім у розділі “Billing” натиснути “Settings” та налаштувати свою платіжну інформацію.

Крок 1: Визначення своєї мети

Для початку роботи з рекламним кабінетом необхідно перейти на домашню сторінку Google Ads та натиснути кнопку “Start Now”, розташовану посередині сторінки або у верхньому правому куті.

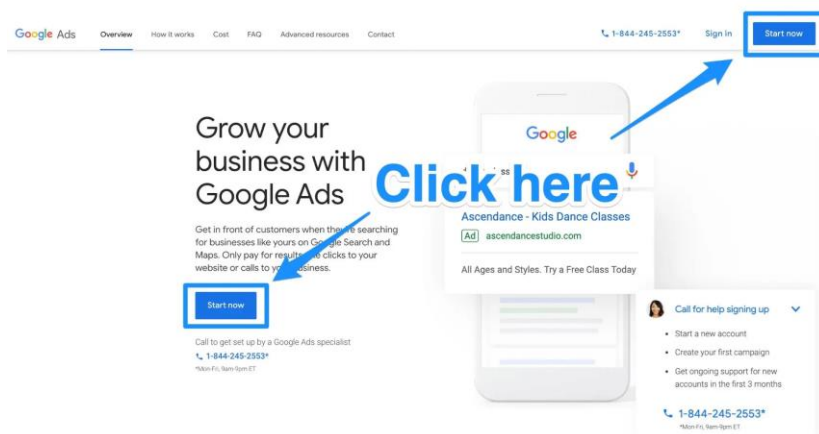


Рисунок 6 - Домашня сторінка Google Ads з кнопками “Start Now”.

Для створення нової кампанії в Google Ads необхідно перейти на інформаційну панель та натиснути “+ New Campaign”. Потім потрібно вибрати ціль кампанії. Це дозволить Google зрозуміти, на яку аудиторію націлитися та як отримати гроші від ставки.

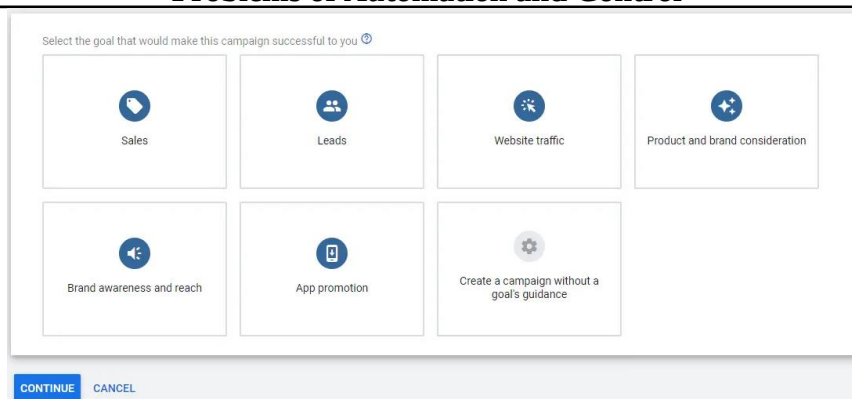


Рисунок 7 - Інформаційна панель та цілі рекламної.

Після вибору цілі кампанії у Google Ads з'явиться вікно для вибору типу кампанії. Доступні варіанти:

- Search;
- Display;
- Shopping;
- VideoSmart;
- Discovery.

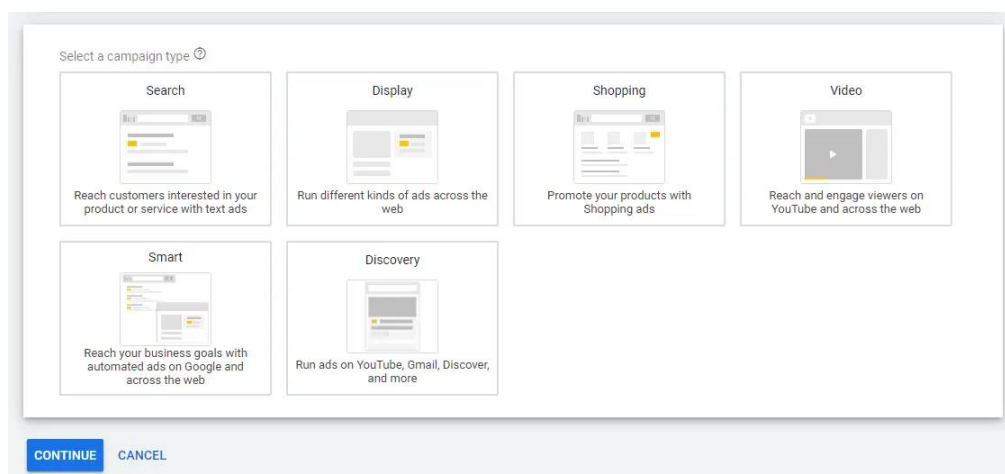


Рисунок 8 - Приклад інформаційного вікна для вибору типу.

Залежно від обраного типу кампанії, інструкції змінюватимуться. Однак загальні кроки залишаються незмінними. Потрібно вибрати тип кампанії, ввести необхідну інформацію та натиснути "Continue".

Крок 2: Націлювання та бюджет

Наприклад, при створенні пошукової кампанії для залучення потенційних клієнтів можна вибрати мережі, у яких відображатиметься реклама.

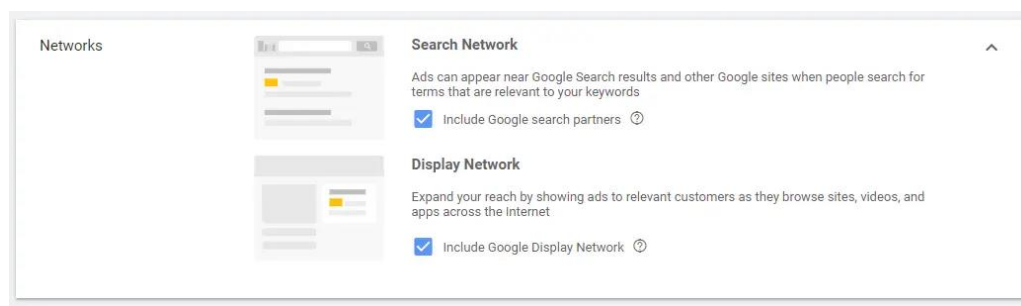


Рисунок 9 - Приклад вибору мережі, у яких відображатиметься реклама.

Можна вибрати конкретне місце розташування, мову та аудиторію для показу реклами. Це дозволяє націлитися на певну групу користувачів.

Targeting and audiences
Choose who you want to reach

Locations Select locations to target ⓘ
☒ All countries and territories
☐ United States and Canada
☐ United States
☐ Enter another location
▼ Location options

Languages Select the languages your customers speak
Your ads show to customers with these language preferences, or on sites with these languages.
🔍 Enter a language
English ⓘ
To show ads to people with Spanish as a language preference, select Spanish as your campaign language and use Spanish ad text and keywords. [Learn more](#)

Audiences Select audiences to add to your campaign ▼

Рисунок 10 - Приклад вибору конкретного місця розташування, мови та аудиторії для показу реклами.

Цілком природно думати, що чим більший радіус, тим більше прибутку можна отримати. Однак це не завжди так. Насправді, чим чіткіше визначена цільова аудиторія, тим більше потенційних клієнтів і конверсій можна отримати. Також має сенс націлитися на меншу територію, якщо бізнес розташований переважно в одному місті. Наприклад, якщо пропонуються фізичні продукти чи роздрібна торгівля в місті А, ймовірно не захочеться включати місті В у цільову аудиторію.

У наступному розділі можна вказати фактичні ставки та бюджет для рекламної кампанії.

Budget and bidding
Define how much you want to spend and how you want to spend it

Budget Enter the average you want to spend each day
\$
For the month, you won't pay more than your daily budget times the average number of days in a month. Some days you might spend less than your daily budget, and on others you might spend up to twice as much. [Learn more](#)

Bidding What do you want to focus on? ⓘ
Clicks ▼
☐ Set a maximum cost per click bid limit
✔ This campaign will use the **Maximize Clicks** bid strategy to help you get the most clicks for your budget
Or, select a bid strategy directly (not recommended)

Рисунок 10 - Приклад вибору фактичної ставки та бюджету для рекламної кампанії.

Необхідно ввести бюджет та обрати тип ставок, на які хочеться націлити. У останньому розділі можна включити розширення оголошень. Це додаткові форми, які допоможуть зробити оголошення ще кращим.

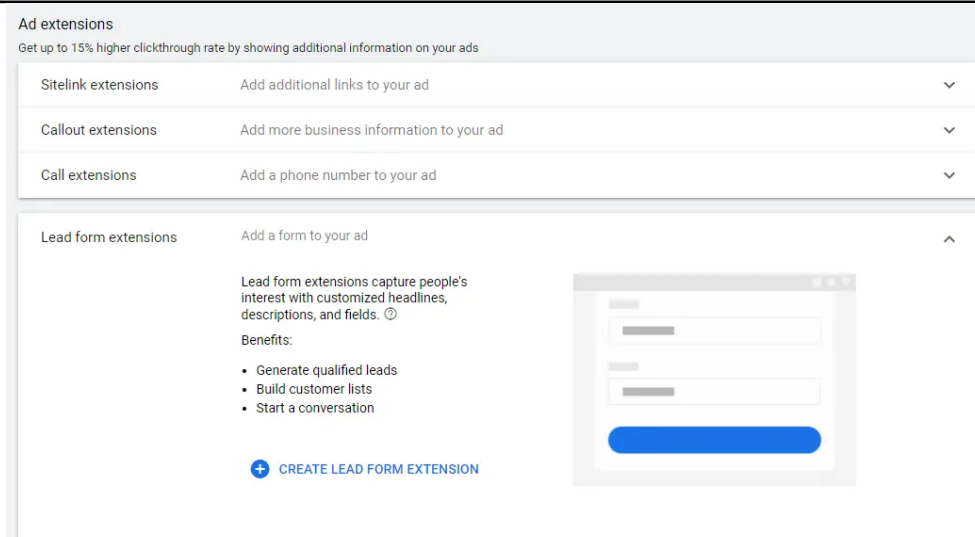


Рисунок 11 - Приклад додаткових форм рекламного оголошення.

Після завершення роботи з цією сторінкою, необхідно натиснути «Save and Continue».

Крок 3: Налаштування груп оголошень

Необхідно налаштувати групу оголошень. Група оголошень - це група об'яв, які можуть мати спільний доступ з однаковими темами та націлюванням. Наприклад, можна мати кілька оголошень, націлених на бігове взуття та спортивну підготовку. У такому випадку можна створити групу оголошень для «бігу».

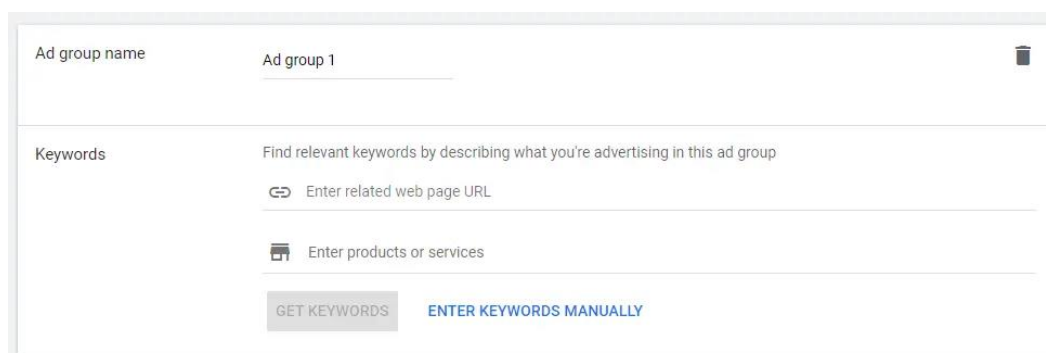


Рисунок 12 - Приклад групи оголошень.

Необхідно додати ключові слова або ввести URL-адресу веб-сайту, і Google надасть їх. Після додавання потрібних ключових слів для групи оголошень, необхідно натиснути «Save and Continue» внизу.

Крок 4: Створення оголошення

Тепер настав час створити оголошення. У цьому розділі можна створити заголовок оголошення та опис. Завдяки вікну попереднього перегляду оголошення з правого боку, можна переглянути попередній перегляд оголошення на мобільних пристроях, настільних комп'ютерах та медійних оголошеннях.

The screenshot displays the Google Ads 'New text ad' creation interface. On the left, there is a form with fields for 'Final URL', 'Headline 1', 'Headline 2', 'Headline 3', 'Display path' (with sub-fields for Path 1 and Path 2), 'Description 1', and 'Description 2'. Each field has a character count (e.g., 0/30 for headlines, 0/15 for paths, 0/90 for descriptions). Below the form is a section for 'Ad URL options'. On the right, a mobile preview shows the ad as it would appear on a smartphone screen, with the headline, URL, and description visible. At the bottom of the form, there are three buttons: 'DONE AND CREATE NEXT AD', 'DONE', and 'CANCEL'.

Рисунок 13 - Приклад створення заголовку оголошення та опису, з вікном попереднього перегляду.

Після створення оголошення необхідно натиснути «Done and Create Next Ad», якщо хочеться додати ще одне оголошення до групи. В іншому випадку необхідно натиснути «Done».

Крок 5: Перегляд та опублікування

На наступній сторінці можна переглянути рекламну кампанію. Потрібно переконатися, що всі проблеми вирішені. Коли все виглядає добре, необхідно натиснути «Publish». Щойно було створено рекламну кампанію Google!

Як відстежувати рекламу Google за допомогою Google Analytics. Якщо не відстежувати та не аналізувати рекламну кампанію Google, то від неї можна отримати мало користі. Аналізуючи дані, можна дізнатися, які зміни потрібно внести у майбутні кампанії, щоб зробити їх успішнішими. Для цього потрібно пов'язати Google Ads із Google Analytics. Зробивши це, слід виконати такі дії:

1. Перейти до облікового запису Google Ads.
2. Натиснути меню "Tools".
3. Натиснути «Linked accounts» в розділі «Налаштування».
4. Натиснути "Details" в Google Analytics.
5. Тепер можна переглядати веб-сайти Google Analytics, до яких є доступ. Натиснути "Set up link" на веб-сайті, який потрібно зв'язати з Google Ads.
6. Звідси можна пов'язати перегляд Google Analytics веб-сайту.
7. Натиснути "Save".

Google Analytics - це надійний інструмент для аналізу даних. Він використовує передові технології машинного навчання Google для аналізу даних та прогнозування майбутніх дій користувачів, наприклад, здійснення покупки або відмови від послуги Google Analytics також автоматично виявляє та поверхнево обробляє корисну інформацію з даних, таку як важливі зміни, нові тенденції та інші можливості росту, на які слід звернути увагу [8].

Однак, як і з будь-яким інструментом аналізу даних, важливо правильно налаштувати Google Analytics та регулярно перевіряти точність даних. Наприклад, одне дослідження показало, що метрика відвідувань була надійною при використанні запиту джерела/середовища. Найбільше відхилення склало +0,89% для нашого сегмента Android (4,54% загальних відвідувань) при установці повзунка виборки на 100% [9]. Таким чином, Google Analytics є надійним інструментом для аналізу даних, але його слід правильно налаштувати та регулярно перевіряти надійність даних.

Висновки. Афілійт-маркетинг є відмінним способом заробітку в мережі. Однак важливо пам'ятати, що цей маркетинговий інструмент не є стабільним і дохід залежить від багатьох факторів. Вибір правильної комбінації рекламного майданчика та пропозиції(зв'язки), може принести значний дохід, але його пошук може зайняти багато часу. Щоб уникнути цього, можна з мінімальними витратами протестувати кілька комбінацій. Після того, як знайдена ефективна комбінація та зрозумілий принцип її роботи, можна масштабувати її та збільшити прибутки у майбутньому.

У статті виконано дослідження статистичного арбітражного ринку в медійній RTB-рекламі. Запропоновано спільну оптимізаційну структуру для максимізації очікуваного арбітражного чистого прибутку з обмеженнями на бюджет і ризик. З наукової точки зору, це представляє великий інтерес, оскільки відкриває новий тип проблеми інтелектуального аналізу великих даних. Це

досягається шляхом об'єднання сегментованих ринків для виправлення неправильного розподілу ризиків та досягнення рівноваги. У статті представлено результати теоретичних та емпіричних досліджень, які дозволили виявити фактори коректної реалізації концепції, а також визначити причини, що обмежують її використання.

Отже, надійність аналітики є ключовим фактором успіху у арбітражі трафіку. Вона допомагає краще розуміти та аналізувати дані, щоб оптимізувати кампанії та збільшити прибуток. Надійна аналітика також дозволяє виявляти проблеми та вирішувати їх своєчасно, що забезпечує стабільність та зростання бізнесу. Використовуючи надійну аналітику, можна краще розуміти своїх клієнтів та ринок, що дозволяє планувати ефективні кампанії та досягати максимального прибутку. Це також допомагає управляти ризиками та адаптуватися до змін на ринку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Statistical Arbitrage Mining for Display Advertising. URL: https://www.researchgate.net/publication/278332487_Statistical_Arbitrage_Mining_for_Display_Advertising (Дата звернення: 2.05.2023).
2. A Thorough Study on Affiliate Marketing. URL: https://www.researchgate.net/publication/369595717_A_Thorough_Study_on_Affiliate_Marketing (Дата звернення: 1.05.2023).
3. Arbitrage Betting. URL: https://www.researchgate.net/publication/364354611_Arbitrage_Betting (Дата звернення: 2.05.2023).
4. Statistical Arbitrage Mining for Display Advertising. URL: <https://arxiv.org/pdf/1506.03837.pdf> (Дата звернення: 6.05.2023).
5. Traffic Arbitrage Guide: Introduction, Tips & Tricks plus TONIC. Integration. URL: <https://volum.com/blog/traffic-arbitrage-guide/> (Дата звернення: 6.05.2023).
6. Moving to Google AdWords A Hands-On Guide for Premium Advertisers documentation. URL: <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/uk//ads/transition.pdf> (Дата звернення: 6.05.2023).
7. Traffic Data Collection and Analysis: methods and procedures. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_130.pdf (Дата звернення: 4.05.2023).
8. Google marketing platform. URL: <https://marketingplatform.google.com/about/analytics/features/> (Дата звернення: 2.05.2023).
9. Can You Trust Your Google Analytics Data? URL: <https://www.blastanalytics.com/blog/can-you-trust-your-google-analytics-data> (Дата звернення: 12.05.2023).

УДК 519.685:004

О.П. Павлович, П.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БІЗНЕС ПРОЦЕСАМИ ІНТЕРНЕТ МАГАЗИНУ

У статті розглянуто сучасні методи управління бізнес процесами інтернет магазину: (Business Process Management System, BPM система). Платформа, яка спрямована на допомогу планування, впровадження, визначення, аналіз і оптимізацію різні бізнес-процеси в інтернет-магазинах метою якої є підвищення ефективності та автоматизації рутинних завдань. За мету поставлено проведення аналізу наявних BPM систем, висвітлення ключових переваг та недоліків кожної із них та розробку удосконаленої BPM системи, яка б задовільнила потреби різних користувачів та компаній.

Ключові слова: BPM система, автоматизована система управління, e-commerce, Business Intelligence, бізнес-процеси, інтернет-магазин, SAP Commerce Cloud, Magento, OpenCart, Bitrix24.

The article discusses modern methods of managing business processes of an online store: (Business Process Management System, BPM system). A platform that aims to help plan, implement, define, analyze and optimize various business processes in online stores, the purpose of which is to

increase efficiency and automate routine tasks. The goal is to conduct an analysis of existing BPM systems, highlight the key advantages and disadvantages of each of them, and develop an improved BPM system that would satisfy the needs of various users and companies.

Key words: BPM system, automated management system, e-commerce, Business Intelligence, business processes, online store, SAP Commerce Cloud, Magento, OpenCart, Bitrix24.

Постановка проблеми. Популяризація інтернет магазинів призвела до значущих змін та впливів на різні галузі, але особливо суттєвий вплив відчувають такі сфери бізнесу, як:

— роздрібна торгівля - зростання популярності онлайн-покупок значно впливає на традиційні роздрібні магазини;

— маркетинг та реклама – розвиток електронної комерції суттєво змінює стратегії маркетингу та реклами. Компанії активно використовують онлайн-канали для привертання уваги та залучення клієнтів;

— технологічний сектор – інновації в електронній комерції, такі як використання штучного інтелекту, віртуальної реальності та інших технологій, стають джерелом зростання технологічного сектору;

— логістика та постачання – зростання обсягів онлайн-торгівлі вимагає ефективних систем логістики та постачання, що впливає на цілі ланцюги постачання та транспорт;

— фінансовий сектор – розвиток електронних платіжних систем та фінтех-рішень є необхідним для забезпечення зручності та безпеки онлайн-транзакцій;

— дизайн та розробка веб-додатків – запит на професіоналів, які вміють створювати зручні та привабливі інтернет-магазини, також зростає.

Тобто можна стверджувати, що інтернет-магазини мають великий вплив на різні галузі, визначаючи нові стандарти та надаючи можливості для розвитку та змін у бізнес-середовищі.

Збір та правильна обробка даних є однаково важливими як для офлайн-бізнесу, так і для e-commerce. На відміну від офлайн-бізнесу, який тільки починає масово впроваджувати BI (Business Intelligence – бізнес-аналітику), онлайн-бізнес уже активно використовує інструменти для збору та консолідації даних. Без комплексної та глибинної аналітики онлайн-бізнес просто не може ефективно існувати. Це пояснюється тим, що без даних про дієвість рекламних оголошень, основних показників роботи сайту чи поведінки користувачів на ньому, можна навіть і не здогадуватись про наявність технічних проблем та причин низьких продаж.

Що ж таке електронна комерція (e-commerce)? Згідно з дослідженнями Kenneth C. Laudon та Carol Guercio Traver представленими в посібнику «E-commerce» [1], електронну комерцію (e-commerce) – формально можна визначити, як цифрові комерційні операції між організаціями та окремими особами. Цифрові транзакції включають усі транзакції здійсненні за допомогою цифрових технологій (здебільшого це означає, що операції відбуваються онлайн, через Інтернет). Комерційні ж операції передбачають обмін цінностями (наприклад грошима) між організаціями чи окремими особами в обмін на товари чи послуги. Обмін цінностями важливий для розуміння обмежень -commerce, без обміну цінностями не відбувається e-commerce.

На сьогоднішній день інтернет-магазини можуть стикатись з різними проблемами в управлінні бізнес-процесами, включаючи:

1) Складність логістики: відправлення товарів, відслідковування поставок та управління запасами можуть вимагати великої уваги та ресурсів, особливо для компаній, які працюють з великою кількістю товарів.

2) Персоналізація обслуговування клієнтів: управління персоналізованими замовленнями та виведенням індивідуальних пропозицій може бути складним завданням, особливо коли клієнтська база значно зростає.

3) Конкуренція та ціноутворення: у сфері електронної торгівлі велика конкуренція, і правильне управління ціноутворенням та акціями може виявитись важливим для збереження та залучення клієнтів.

4) Безпека даних: захист особистих даних клієнтів та відповідність з правилами безпеки є важливими в аспектах, оскільки кіберзагрози і зловмисні атаки залишаються актуальними.

5) Аналітика та звітність: отримання та аналіз даних щодо продажів, клієнтського зворотного зв'язку та інших аспектів бізнесу допомагає в прийнятті обґрунтованих рішень, і недостатня аналітика може бути недоліком.

Завдання інтернет-магазинів полягає в тому, як ефективно вирішувати ці виклики, забезпечуючи гнучкість та ефективність управління бізнес-процесами.

Моделі управління бізнес-процесами спроможні забезпечити цінні уявлення та надійну основу для здійснення відповідного ділового вибору. Моделі та теорії управління загалом можуть допомогти компаніям та користувачам прояснити ситуацію в бізнесі [2].

У даній статті проведено аналіз наявних сучасних автоматизованих систем управління бізнес-процесами інтернет-магазину та сформувано висновки, які стали базою для розробки автоматизованої системи управління бізнес процесами інтернет-магазину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сфері управління бізнес-процесами інтернет-магазинів проводяться численні дослідження. Дослідницькі роботи охоплюють різні аспекти, такі як оптимізація логістики, підвищення ефективності управління запасами, аналіз споживчої поведінки, використання технологій для поліпшення користувацького досвіду, впливу інновацій, використання аналітики для прийняття рішень, адаптації до змін в індустрії електронної комерції тощо. Системний підхід, як спосіб комплексного аналізу різноманітних систем, у тому числі суспільно-економічних, активно використовували вчені різних країн. Проте незважаючи на значні теоретико-методологічні можливості системного аналізу у вирішенні теоретичних та практичних завдань, використання його для дослідження такого важливого сектору економіки, як торгівля, є неадекватним його потенціалу. Для ефективного використання системного аналізу у вивченні торговельних мереж, перед усім слід дослідити визначення категорійного апарату, який характеризує будову та функціонування торговельної системи. [3].

Всі дослідження є важливими для розуміння тенденцій в галузі та розробки оптимальних стратегій управління бізнес-процесами інтернет-магазину. Найактуальніші дослідження презентуються на конференціях, присвячених розвитку інновацій в сфері автоматизації бізнес-процесів. **Метою** статті є аналіз популярних Business Process Management System для розробки удосконаленої автоматизованої системи управління бізнес-процесами інтернет-магазину.

Основна частина. Основні компоненти автоматизованої системи управління бізнес-процесами включають в себе:

1) Моделювання процесів: створення моделей бізнес-процесів, з метою детальнішого (кращого) розуміння, як вони працюють та як можна їх оптимізувати.

2) Автоматизація завдань: важливі рутинні завдання, такі як обробка замовлень, опрацювання платежів, відправлення повідомлень і сповіщень, можуть бути автоматизовані.

3) Моніторинг і аналітика: забезпечує можливість моніторингу за етапами виконанням бізнес-процесів, аналіз даних та отримування звіти з метою для прийняття конструктивних та оптимальних рішень.

4) Інтеграція з іншими системами: автоматизована система управління бізнес-процесами може бути інтегрована з іншими системами, такими як CRM, ERP, системи управління запасами тощо, з метою обміну даними та спрощення бізнес-процесів.

5) Поліпшення продуктивності і клієнтського обслуговування: автоматизація бізнес-процесів допомагає скоротити час виконання завдань, запобігає помилкам та поліпшує якість обслуговування клієнтів.

6) Управління змінами: забезпечує можливість легко внести зміни в бізнес-процеси та перевірити їх вплив на результати.

Автоматизовані системи спрощують рутинні операції, покращують продуктивність та допомагають забезпечити більшу якість обслуговування клієнтів в інтернет-магазині. Вони є важливим інструментом для оптимізації та автоматизації роботи бізнесу.

Автоматизовані системи управління бізнес-процесами (БП) для інтернет-магазинів можуть бути дуже корисними для ефективного управління різними аспектами їх діяльності.

Розглянемо кілька основних систем, які часто використовуються в інтернет-магазинах:

1. SAP Commerce Cloud (рис. 1). Це потужна та розширювана автоматизована система управління бізнес-процесами (BPM) та електронною комерцією, розроблена компанією SAP [4]. Вона призначена для інтернет-магазинів та компаній, що продають товари та послуги онлайн.

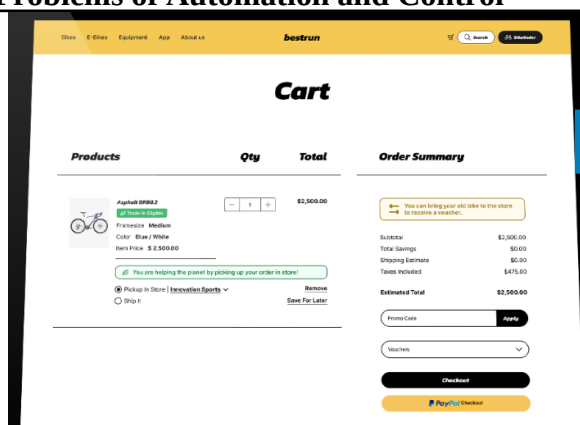


Рис. 1 SAP Commerce Cloud

Основними характерними особливостями даної платформи є: широкий функціонал (надає розширені інструменти для управління бізнес-процесами, включаючи управління продуктами, замовленнями, клієнтами, маркетингом та аналітикою), масштабованість (система розроблена так, щоб обслуговувати інтернет-магазини різних розмірів - від малих до великих підприємств), персоналізація (дозволяє створювати персоналізовані пропозиції та рекомендації для клієнтів на основі їхніх покупок та інших даних), мультиканальність (можна керувати продажами через різні канали, включаючи веб-додатки, мобільні додатки, соціальні мережі та інші), інтеграція (легко інтегруватися з іншими системами, такими як CRM, ERP і системи управління запасами, що спрощує обмін даними та забезпечує єдність інформації), аналітика та звіти (надає інструменти для аналізу та моніторингу продажів та інших бізнес-показників, що допомагає виробляти інформовані рішення), можливість розширення та адаптації.

Проте варто зазначити, що дана платформа має ряд вагомих недоліків, основними з яких є наступне:

- висока вартість (SAP Commerce Cloud відома своєю високою вартістю, яка може бути недосяжною для менших компаній та стартапів. Вартість не обмежується лише ліцензійними витратами, але і витратами на розробку та підтримку.

- складність налаштування та впровадження: SAP Commerce Cloud - це складна система, яка вимагає досвіду і спеціалізованих знань для налаштування та впровадження. Це може призвести до великих витрат часу і ресурсів.

- великі системні вимоги: SAP Commerce Cloud потребує потужних серверних ресурсів і інфраструктури, що може бути дорогою для підтримки та обслуговування.

- потребує досвідченого персоналу: Робота з SAP Commerce Cloud вимагає досвіду і кваліфікації спеціалізованих фахівців. Наймання та збереження такого персоналу може бути витратним завданням.

- затримки в розробці та оновленнях: Оновлення та розробка нових функцій у SAP Commerce Cloud може займати багато часу, що може вплинути на швидкість впровадження нових можливостей.

- залежність від інфраструктури SAP: Використання SAP Commerce Cloud може вимагати інтеграції з іншими продуктами SAP, що може створювати залежності від екосистеми SAP.

- спеціалізовані знання і навчання персоналу: Ваш персонал може потребувати спеціалізованих навчань для роботи з SAP Commerce Cloud, що може бути витратним.

2. Magento (рис. 2) є однією із найпопулярніших та потужних платформ для створення і управління інтернет-магазинами. Вона пропонує широкий спектр можливостей для автоматизації бізнес-процесів інтернет-магазину [5].

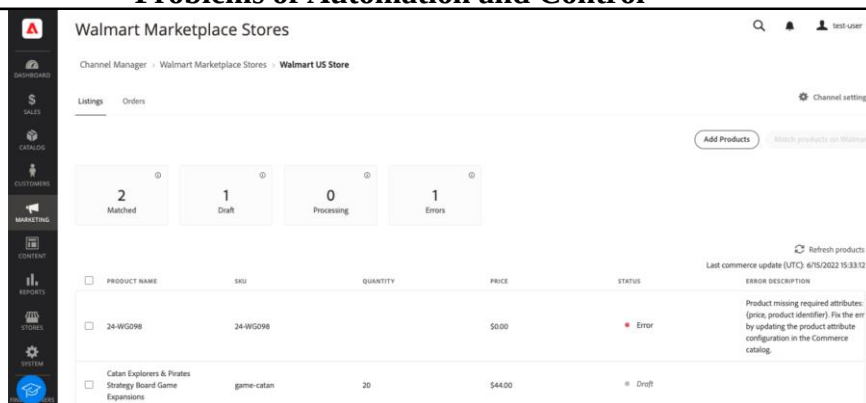


Рис. 2 Magento

До основних переваг використання в управлінні бізнес-процесами інтернет-магазинів платформи Magento відносять наступне: велика спільнота користувачів та розширення (Magento має велику активну спільноту користувачів і розробників, яка постійно розширює функціональність платформи), потужний інструментарій управління (інструменти для управління продуктами, замовленнями, клієнтами, платежами та доставкою. Ви можете створювати, редагувати та видаляти товари, встановлювати ціни, керувати запасами та багато іншого), можливості для мультиканального маркетингу (інструменти для маркетингу, включаючи можливості для створення купонів, розпродажів, програм лояльності, SEO-оптимізації та інших методів просування), мобільна сумісність (мобільна версія вашого інтернет-магазину, що дозволяє клієнтам здійснювати покупки через мобільні пристрої), аналітика та звіти (інструменти для аналізу результатів, включаючи звіти про продажі, статистику клієнтів та інші аналітичні дані), безпека (платформа має вбудовані заходи безпеки, що допомагають захистити дані клієнтів та бізнесу від загроз), спільність і підтримка (широка спільність користувачів і розробників, яка завжди готова надати поради та підтримку).

Проте враховуючи популярність платформи Magento є певний перелік недоліків, які ускладнюють її використання:

- вимоги до ресурсів сервера: Magento вимагає великих ресурсів сервера, що може призвести до високих витрат на хостинг.

- складність налаштування: платформа може бути складною для налаштування, і для роботи з нею може бути необхідно мати досвід у розробці.

- витрати на розширення: більшість розширень Magento є платними, що може збільшити вартість володіння.

3. Bitrix24 (рис. 3) - це комплексна автоматизована система управління бізнес-процесами (BPM) і платформа для співпраці та управління проектами. Вона спрямована на різноманітні бізнес-потреби, включаючи CRM, соціальну колаборацію, завдання та проекти, комунікацію, маркетинг, аналітику та інші аспекти управління бізнесом [6].

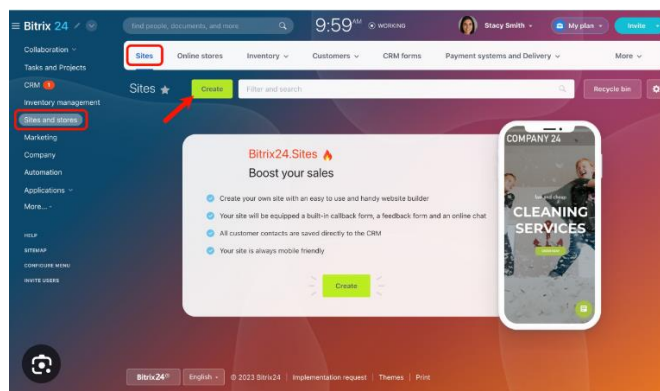


Рис. 3 Bitrix24

Використовуючи Bitrix24 при управлінні процесами інтернет-магазину, користувач отримує такі переваги: CRM і управління клієнтами (потужна CRM-систему, яка дозволяє

відстежувати клієнтів, контакти, угоди та продажі), соціальна колаборація (платформа надає інструменти для спільної роботи, обміну ідеями, чату та групових завдань для покращення комунікації між співробітниками), управління завданнями та проектами (дозволяє створювати завдання, розкладати проекти, встановлювати дедлайни та відстежувати прогрес виконання завдань), маркетинг та аналітика (використання інструментів маркетингу, таких як автоматизація маркетингу, електронні розсилки та аналітика для вивчення результатів, інтеграція з іншими системами (Bitrix24 інтегрується з багатьма іншими популярними програмами і сервісами, що полегшує обмін даними та інтеграцію з іншими системами), безпека (платформа пропонує заходи безпеки та дотримується стандартів безпеки для захисту даних).

Але поряд із перевагами користувачі Bitrix24 зустрічаються із певними мінусами роботи платформи:

- великість та складність: Bitrix24 може виглядати великим та складним для менших компаній і тих, хто шукає просту платформу.

- висока вартість: хоча Bitrix24 пропонує безкоштовну версію, деякі розширені функції та масштаби можуть бути дорогими.

- обмеженість безкоштовної версії: безкоштовна версія Bitrix24 має обмеження по кількості користувачів та функціональності.

4. OpenCart (рис. 4) - це безкоштовна та дуже популярна платформа для створення та управління інтернет-магазинами [7]. Вона має свою систему управління бізнес-процесами і надає інструменти для розгортання та керування електронним бізнесом.

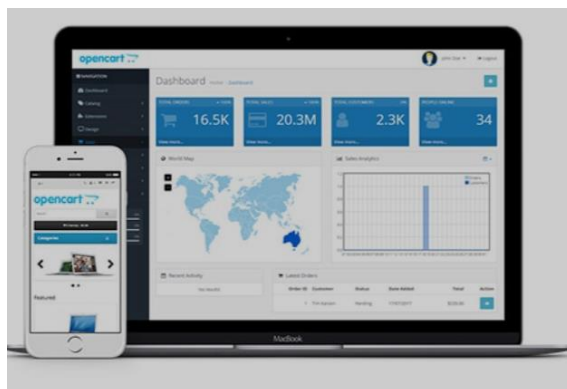


Рис. 4 OpenCart

Розглянемо ключові характеристики та особливості OpenCart: простота використання (легкість встановлення та використання, відсутність в потребі глибоких технічних знань), можливість керування продуктами (можливість додавати та керувати продуктами, встановлювати ціни, створювати категорії та використовувати різні параметри продуктів), система керування замовленнями (інструменти для обробки замовлень, включаючи можливості відстеження статусу замовлення та комунікації з клієнтами), широкий вибір шаблонів і дизайнів (вибір з багатьох готових шаблонів та дизайнів для налаштування інтернет-магазину), Модульність та розширення, аналітика та звіти, має активну спільноту користувачів і розробників, що надає підтримку та розробляє розширення.

OpenCart - це хороший вибір для тих, хто шукає простий та функціональний спосіб створити свій власний інтернет-магазин. Платформа дозволяє швидко розпочати електронний бізнес та надає інструменти для налаштування магазину відповідно до потреб [7].

Не дивлячись на те, що OpenCart є досить популярною платформою, є певний спектр недоліків, які суттєво впливають на користувачів при виборі інструменту управління, а саме:

- складність налаштування: інсталяція та налаштування OpenCart може бути не так простою, як в інших системах, і вимагає базових технічних знань.

- масштабованість: для великих інтернет-магазинів OpenCart може бути менш підходящим, оскільки вона може виявитися менш масштабованою і вимагати додаткового зусилля для розширення.

- підтримка і оновлення: особливо для безпеки, потрібно слідкувати за оновленнями та додатковими модулями.

Висновок. Провівши аналіз наявних сучасних автоматизованих систем управління бізнес-процесами інтернет-магазину можна зробити наступні ключові висновки:

— всі розглянуті автоматизовані системи є складними в налаштуванні, як для звичайних користувачів (стартпапи розвитку власного бізнесу), так і для діючих компаній. Важкість налаштування може бути недоліком для тих, хто не має глибоких технічних знань, що може призвести до помилок і затримок в запуску магазину;

— висока вартість – деякі розширені функції та можливості, можуть бути дорогими, що може викликати фінансові обмеження. Висока вартість може бути проблемою для менших компаній і стартапів також дорогі тарифи та комісії за транзакції можуть збільшити вартість володіння магазином;

— вимоги до ресурсів - високі вимоги до серверних ресурсів можуть призвести до великих витрат на хостинг;

— підтримка та оновлення – можуть бути проблематичними для користувачів без досвіду у роботі з веб-системами, а також для деяких функцій може бути необхідне використання сторонніх розширень чи інтеграція із іншими продуктами може бути обмежена;

Кожен з цих недоліків може бути перешкодою для успішного використання автоматизованих систем управління бізнес-процесами компаній. А отже, загалом, удосконалення системи управління бізнес-процесами інтернет-магазину повинні бути спрямовані на полегшення використання, підвищення продуктивності, зниження витрат і підвищення безпеки, щоб задовольнити потреби різних типів користувачів та компаній.

Предмет подальших досліджень. На основі проаналізованих систем та недоліків розробка удосконаленої платформи управління бізнес-процесами інтернет-магазину з метою забезпечення задоволення потреб різних типів користувачів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kenneth C. Laudon та Carol Guercio Traver. E-commerce. Business. Technology. Society. Global Edition: Вид-во Pearson, 2022. 91 с.
2. Гербен Ван Ден Берг, Пол Пітерсма. 25 ключових моделей управління: Харків: Вид-во Фабула, 2020. 208 с.
3. Корсак В., Корсак Р. Анатомія ритейлу. Як стати лідером роздрібного ринку: Вид-во Коло, 2021. 816 с.
4. SAP Commerce Cloud. URL: <https://www.sap.com/products/crm/commerce-cloud.html> (дата звернення 20.11.2023).
5. Magento. URL: <https://commercemarketplace.adobe.com/magento-channel-manager.html> (дата звернення 15.11.2023).
6. Bitrix24. URL: <https://bg-bitrix24.net.ua/> (дата звернення 15.11.2023).
7. OpenCart. URL: <https://opencart.ua> (дата звернення 20.11.2023).

УДК 629.78.054

В. О. Сацик, О. О. Корольчук, О.В.Сацик, Л. М. Маркіна, О.О. Смолянкін.

Луцький національний технічний університет

E-mail v.satsyk@lutsk-ntu.com.ua

СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЯ : ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ. ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Дана робота носить оглядовий характер в ній розглядається поняття супутникової навігації, коротка історична довідка виникнення, основні типи, сфери застосування, різновиди та її складові, проблеми та основні шляхи їх вирішення.

Ключові слова: супутникова навігація, глобальна система позиціонування, космічний сегмент, сегмент керування, сегмент користувача, GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Бейдоу, RTK, А-GPS та LBS, система диференціального глобального позиціонування.

V. Satsyk, O. Korolchuk, L. Markina, O. Smolyankin, O. Satsyk. Satellite navigation: basic principles of operation. Problems and methods of their solution. This work is of a review nature, it examines the concept of satellite navigation, a brief historical reference to its origin, main types, areas of application, problems and the main ways to solve them.

Keywords: satellite navigation, global positioning system, space segment, control segment, user segment, GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, RTK, A-GPS and LBS, differential global positioning system.

Постановка проблеми. Актуальність питання використання глобальної системи позиціонування в різних сферах життя від військового до побуту в повсякденні спонукає розкрити для читачів принцип роботи даної системи, її проблеми та методи вирішення.

Виклад основного матеріалу.

Пристрої супутникової навігації тісно ввійшли в наше життя. Військова справа, моніторинг транспортних засобів, навігація морських суден та літаків, персональна навігація – далеко неповний перелік сфер, в яких використовується супутникова навігація.

Коротка історична довідка виникнення система глобального позиціонування (GPS). Система глобального позиціонування (GPS) була розроблена і запущена виключно у військових цілях США, історія її виникнення включає наступні ключові події.

Початок розробки: концепція GPS виникла в середині 20 століття, але реальні роботи над системою почалися в 1970-х роках у США. Початкова концепція та розробка включає в себе : у 1973 році Департамент оборони США виступив із запитом щодо розробки систем, які забезпечили точне геопросторове позиціонування для військових цілей. Запуск першого шляху: перший шлях, присвячений системі GPS, був запущений 22 лютого 1978 року. Завершення постійної складової : у 1983 році була завершена постійна складова система, і GPS став доступним для цивільного використання. Катастрофа рейсу Korean Air Flight 007: у 1983 році рейс Korean Air 007 вийшов за межі повітряного простору CPCP і був збитий. Ця подія підкреслила необхідність точного та надійного системного позиціонування, що призвело до більшої підтримки для розвитку GPS. Закриття сегменту "Вибіркова доступність": у 2000 році був закритий сегмент «Вибіркова доступність», який дозволяв забезпечити цивільним користувачам більшу точність отримання сигналів GPS. Розширення системи: згодом GPS став першим компонентом для навігації та геопросторового позиціонування в різних галузях, таких як транспорт, сільське господарство, телекомунікації та наука [1].

Сьогодні GPS є широко використовуваною технологією для навігації, визначення місця розташування та синхронізації в часі в різних сферах, включаючи транспорт, метеорологію, телекомунікації та особисте використання.

В той же час не дивлячись на актуальність та широку сферу застосування даної технології , далеко не кожен розуміє принцип роботи супутникової навігації, знає її різновиди та складові.

То ж розглянемо детальніше:

Супутникова система навігації (GNSS — Global Navigation Satellite System) — система наземного та космічного обладнання, що призначена для позиціонування в просторі та часі, а також для визначення швидкості, напрямку та інших параметрів руху об'єкта.

Система складається з трьох основних складових (сегментів): космічний, сегмент керування та сегмент користувача, на рисунку 1 відповідно: космічні супутники, наземна станція, GPS – приймач [2].

Принцип роботи супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени приймача на об'єкті до навігаційних супутників, місцезнаходження яких відоме з великою точністю. Таблиця положень супутників («альманах») є в кожному приймачі супутникового сигналу до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах у пам'яті з часу останнього ввімкнення. Кожний супутник передає в своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов на основі альманаху вираховується положення об'єкта в просторі.

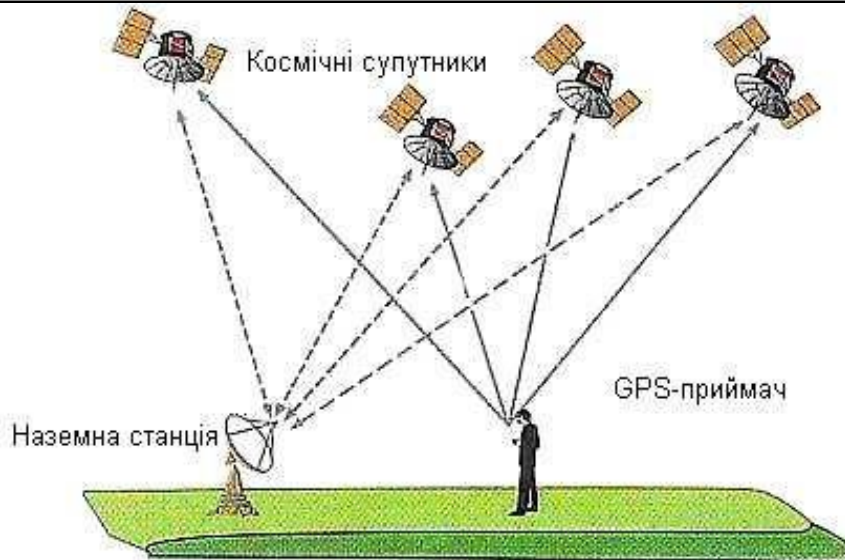


Рисунок 1. Спрощена схема функціонування GPS навігації

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні швидкості поширення радіохвиль. Для реалізації можливості вимірювання часу поширюваного радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів супутників обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі, і часом прийому сигналу антеною приймача. Маючи дану інформацію, навігаційний приймач вираховує координати антени. Решта параметрів руху (швидкість, напрямок, пройдена відстань) обчислюється на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з координатами, визначеними за попередніми обчисленнями.

Таким чином, принцип роботи супутникових систем навігації зводиться до наступного: супутники посилають радіосигнали з космосу на земні станції, в яких містяться зашифровані дані про час відправлення повідомлення і координати супутника. За відомими показниками часу і швидкості сигналу розраховується відстань. Для визначення місця розташування необхідно кілька супутників, які одночасно відправляють сигнал. Перетин відрізків від супутників до приймача і є місцем розташування приймача [3].

Найвідоміші на сьогодні системи супутникової навігації:

- GPS
- ГЛОНАСС
- Galileo
- Бейдоу

Всі вони працюють за схожим принципом: для середнього за точністю позиціонування в просторі антена приймача має отримувати сигнал мінімум від 4 супутників системи (або від 3, якщо 1 з координат відома, наприклад, висота над рівнем моря судна в океані – 0 м), але є певні відмінності. Наприклад, кожна супутникова навігаційна система визначає місцезнаходження в «своєї» системі координат, кожна з систем супутникової навігації належить різним країнам чи угрупованням країн. Але ці чинники не є важливими для користувачів, набагато важливішими відмінностями є нахил та кількість орбіт, на яких знаходяться супутники, а також їх кількість, період обертання навколо Землі, оскільки саме ці параметри найбільше впливають на точність позиціонування, рис. 2.



Рисунок 2. Образне зображення основних найвідоміших систем навігації та узагальнений принцип їх роботи

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - російська радіонавігаційна супутникова система, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР.

Основою системи є 24 активні супутники, що обертаються на орбіті середньою висотою 19 100 км над поверхнею Землі з нахилом $64,8^\circ$ та періодом близько 11 годин в трьох орбітальних площинах із 8 рівномірно розподіленими супутниками в кожній, а також резервні апарати, призначення яких – в будь-який момент часу замінити супутники, що за певних причин вийшли з ладу. Значення періоду дозволило створити стійку орбітальну систему, що не потребує для своєї підтримки корегувальних імпульсів. Сигнали передаються з направленістю в 38° з використанням правої кругової поляризації, із потужністю 316—500 Вт (EIRP 25-27 dBW). Супутники системи ГЛОНАСС стає передають радіовипромінювання двох типів: навігаційний сигнал діапазону L1 (1,6 ГГц) та навігаційний сигнал високої точності діапазонів L2 і L3 (1,2 ГГц). Наземний комплекс керування ГЛОНАСС складається з центру керування системою та контрольних станцій. Орбіта супутників ГЛОНАСС надає можливість застосування навігаційної системи на високих широтах (північний і південний полярний регіон), де сигнал GPS приймається погано.

На сьогоднішній день похибки навігаційних показників ГЛОНАСС по довготі і широті становлять 3—6 м при використанні в середньому 7—8 супутників (залежно від точки прийому сигналів). Після запланованого раніше виведення на орбіту апаратів для корегування сигналу очікується підвищення точності позиціонування до 1 м.

Галілео – система супутникової навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства.

Система почала діяти з 15 грудня 2016 року в обмеженому режимі. Повністю розгорнута система складатиметься з 27 активних та 3 запасних супутників, що обертатимуться з висотою 23 222 км над поверхнею Землі з нахилом 56° та періодом близько 14 годин в трьох орбітальних площинах із 9 активними та 1 резервним супутником в кожній. Наземна інфраструктура включає два (в майбутньому – 3) центри управління й глобальну мережу передавальних і приймальних станцій. Після завершення проекту, яке заплановано на 2020 рік, навігаційні сигнали Галілео забезпечать хороше покриття навіть на широтах до 75° північної широти, а точність визначення місцезнаходження об'єкта сягатиме 1 м.

Також у майбутньому стане доступною додаткова функція - супутники Галілео передаватимуть сигнали тривоги від користувачів до регіональних рятувально-координаційних центрів. У відповідь система надсилатиме сигнал користувачам, повідомляючи, що аварійну ситуацію виявлено, що вважається значним оновленням у порівнянні з наявною системою, яка не забезпечує зворотного зв'язку.

Бейдоу - китайська супутникова система навігації. Планується, що космічний сегмент навігаційної супутникової системи Бейдоу буде складатися з орбітального угруповання змішаного типу, тобто з орбітальних супутників 3 - х типів.

Система Бейдоу почала функціонувати ще в 2003 році, була запущена в комерційну експлуатацію 27 грудня 2012 як регіональна система позиціонування (лише для азійсько-тихоокеанського регіону), при цьому супутникове угруповання становило 16 супутників. На сьогодні межі надання послуг позиціонування системою Бейдоу продовжують розширятись. Точність позиціонування системи для цивільного населення становить менше 10 метрів, точність вимірювання швидкості менше 0,2 метра в секунду. Планується, що до 2020 року орбітальне угруповання Бейдоу буде складатися з 35 космічних апаратів, з яких 5 Beidou-G перебуватимуть на геостационарній орбіті (точки 58,75 ° сх.д., 80 ° сх.д., 110,5 ° сх.д., 140 ° сх.д. і 160 ° сх.д.), 27 Beidou-M - на середній круговій орбіті (висота 21 500 км, період обертання 12 год 53 хв, нахил 55 °) і 3 Beidou-IGSO - на геосинхронних похилих високих орбітах (в трьох площинах, висотою орбіти 35 786 км, нахилом 55 °), підсупутникові точки яких рухаються на поверхні Землі по одній «траєкторії» у формі вісімки, вісь симетрії якої знаходиться на довготі 118° східної довготи. Це забезпечить перехід системи Бейдоу від статусу регіональної до глобальної системи супутникової навігації.

NAVSTAR GPS (Global Positioning System Navigation Satellite Time and Ranging) - високоточна супутникова система навігації, яка дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта, його широту, довготу та висоту над рівнем моря, а також напрямок і швидкість його руху. Комплекс NAVSTAR розроблений, утілений і належить Міністерству оборони США.

Станом на сьогодні основою системи є 32 супутники (активні та резервні), що працюють у єдиній мережі й обертаються на шести кругових орбітах, розташованих під кутом 60° одна до одної. На кожній орбіті розміщено по 4 активні супутники, висота орбіт приблизно дорівнює 20 200 км, нахил орбіти - 55°, а період обертання кожного супутника навколо землі дорівнює 12 годинам. Таким чином, із будь-якої точки земної поверхні зазвичай одночасно видно від чотирьох до дванадцяти таких супутників. Кожні 30 секунд супутник передає навігаційні повідомлення, в яких містяться дані про положення супутника в певний момент часу, дані про якість сигналу, похибку супутникового годинника та коефіцієнти моделі іоносфери. Передача сигналу з супутника відбувається на частоті 1575,42 МГц.

Станції керування розміщені в Колорадо-Спрінгз, Дієго-Гарсія, на острові Вознесіння, атолі Кваджелейн і на Гаваях. Вся інформація, що проходить через ці станції, записується ними та передається на головну станцію на авіабазі в Шрівері (штат Колорадо).

Звичайна точність сучасних GPS-приймачів в горизонтальній площині становить 5-10 метрів, та 10-20 метрів за висотою. На території США і Канади є станції WAAS, в Європі діють станції EGNOS, які передають поправки для диференційного режиму, що дозволяє збільшити точність обчислення положення до 1-2 метрів. При використанні більш складного додаткового обладнання точність визначення координат можна довести до 10 см. Проте, невисокий нахил орбіт супутників GPS (приблизно 55°) значно погіршує точність у приполярних регіонах Землі, оскільки супутники GPS невисоко піднімаються над горизонтом.

Проблеми систем супутникової навігації.

Недоліком усіх систем супутникової навігації є те, що за певних умов сигнал від супутників може надходити до приймача з затримкою або не надходити взагалі. Оскільки робоча частота GPS лежить у дециметровому діапазоні радіохвиль, рівень прийому сигналу супутників приймачем може значно погіршитись під щільним листям дерев, через велику хмарність. Нормальному прийому сигналів GPS можуть завадити перешкоди від багатьох наземних радіоджерел, а також від магнітних бур. Перешкодами для проходження сигналу також можуть бути: щільна забудова міста (велика кількість хмарочосів), товсті бетонні чи залізобетонні стіни, розміщення приймача у підземному приміщенні. Щоб мінімізувати цей недолік системи супутникової навігації, рекомендовано розміщувати приймач на максимально відкритій місцевості, або, якщо це неможливо, використовувати виносні антени для покращення передачі сигналів.

Перед вибором пристроїв супутникової навігації варто з'ясувати, які системи супутникової навігації краще функціонують у вашій місцевості. Наприклад, у полярних регіонах GPS(NAVSTAR) має малу точність, порівняно з ГЛОНАСС (причиною є різний нахил орбіт супутників), хоча загалом GPS забезпечує більш точне визначення місцезнаходження.

Також проблемою GPS (та деяких інших систем супутникової навігації) вважається скидання номеру тижня (WNRO - week number roll over), адже це може впливати на роботу пристроїв супутникової навігації. У складі навігаційних радіосигналів, що передаються з супутників системи

до приймача, міститься номер тижня, максимальне значення якого – 1023. Коли номер тижня досягає значення 1023, лічильник скидає відлік номеру тижня до 0 (приблизно кожні 20 років). Не підготовані до даної події пристрої можуть почати неправильно вираховувати час та дату, що може впливати на функції пристрою, які залежать від даних параметрів. Для мінімізації впливу WNRO на ваші пристрої супутникової навігації, необхідно вчасно оновлювати ПЗ та, при виникненні питань, звертатися до виробника. В той же час, з модернізацією GPS (та інших ССН) максимальне значення номеру тижня повинно збільшитися (спеціалісти GPS хочуть збільшити кількість біт лічильника), і про WNRO можна буде не турбуватись значно довше.

Різновиди технологій супутникової навігації: GPS, RTK, A-GPS, LBS та DGPS.

Якщо пристрій, що використовує GPS, перебуває в неактивному стані протягом тривалого часу (більше кількох годин), виникає проблема зі швидкістю визначення місцезнаходження при переведенні пристрою в активний стан. Це пов'язано з тим, що пристрою необхідний час, щоб визначити, з якими супутниками йому потрібно зв'язатись, отримати від них сигнали та визначити своє місцезнаходження. Тобто, власнику пристрою доведеться очікувати від 45 секунд (якщо пристрій не був активним кілька годин) до майже 15 хв (якщо пристрій не був активним кілька днів) та, можливо, навіть довше.

Для того щоб вплив цього недоліку був мінімальним, виробники систем, використовують технології A-GPS або (та) LBS, RTK та DGPS. Як вони працюють та чим відрізняються давайте розглянемо детально.

A-GPS (Assisted GPS) - технологія, яка прискорює «холодний старт» GPS-приймача. Прискорення відбувається завдяки інформації, отриманій через альтернативні канали зв'язку. Коли GPS-приймач перейде із неактивного стану в активний, йому потрібно буде спочатку отримати дані про поточне розташування супутників, а потім вже визначити своє місцезнаходження. Це потребує певних затрат часу. A-GPS допомагає прискорити визначення координат, підключаючись через інтернет до веб-сервера (так званого Assisted-сервера), який вже містить актуальну інформацію про всі супутники. Ця інформація передається через GPRS чи інші типи зв'язку (наприклад, Wi-Fi) на приймач. Таким чином, технологія A-GPS надає пристрою інформацію про розташування потрібних супутників, пришвидшуючи «холодний старт», підвищуючи чутливість приймача та зменшуючи енергоспоживання пристрою.

Проте, дана технологія не може функціонувати поза зоною покриття стільникового зв'язку. Крім того, за A-GPS доводиться платити відповідно до встановленого вашим провайдером тарифу, оскільки вона споживає інтернет-трафік (хоч і незначний).

LBS (Location-based service) – технологія, що надає змогу визначити місцезнаходження об'єкта за електронною картою LBS-системи, на якій зазначене розташування базових станцій операторів стільникового зв'язку. Точність визначення місцезнаходження залежить від щільності розташування базових станцій на заданій місцевості. Міста зазвичай знаходяться в зоні покриття відразу кількох базових станцій, місцезнаходження визначається по точці перетину радіусів покриття кожної із станцій, тому точність визначення місцезнаходження в населених пунктах за допомогою LBS може сягати 50 метрів. За межами населених пунктів, точність визначення може знаходитись в межах від кількох сотень метрів до кількох кілометрів.

Технологія LBS використовує статичну базу даних і дозволяє отримати уявлення про розташування об'єкта, але фактично не може надати точні координати, крім того, не дає ніякої додаткової інформації (наприклад, висота над рівнем моря об'єкта, швидкість переміщення). Однак LBS може надати приблизне місцезнаходження об'єкта тоді, коли GPS не функціонує або функціонує з перебоями (наприклад, у місті з щільним забудовуванням хмарочосами).

RTK (Real Time Kinematic) - сукупність методів для визначення місцезнаходження в просторі з сантиметровою точністю за допомогою супутникової навігації сумісно з поправками з базових станцій.

Як вже зазначалося вище, за певних умов (хмарність, велика кількість дерев, електромагнітні перешкоди, тощо) радіосигнали з супутників частково спотворюються, що є причиною погіршення точності позиціонування. Для того, щоб підвищити точність, була винайдена технологія RTK.

Принцип роботи технології RTK. Для отримання поправок використовується базова станція, координати якої мають бути відомими заздалегідь з великою точністю. Базова станція приймає сигнали від супутників, за допомогою спеціалізованого ПЗ вираховується похибка визначення місцезнаходження станції, формуються поправки. Вони надсилаються на ровер (приймач), який в свою чергу приймає сигнали від тих самих супутників, що й базова станція. Ровер обробляє сигнали

супутників та, використовуючи поправки з базової станції, визначає своє місцезнаходження з точністю до 1-2 см в режимі реального часу. Для передачі поправок використовуються радіомодеми, інтернет, тощо [4].

На рисунку 3 показано основні складові та принцип будови системи диференціального глобального позиціонування DGPS (Differential Global Positioning System). DGPS - метод використання GPS, який досягає точності позиціонування, необхідної для точного землеробства за допомогою диференціальної корекції.



Рисунок 3. Система диференціального глобального позиціонування DGPS

Диференціальний режим DGPS (Differential GPS) дозволяє встановити координати з точністю до 3 м у динамічній навігаційній обстановці і до 1 м -стаціонарних умовах. Диференціальний режим реалізується за допомогою контрольного GPS-приймача, що називається опорною станцією. Вона розташовується в пункті з відомими координатами, у тому ж районі, що і основний GPS-приймач. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної, геодезичної зйомки) із заміряними, опорна станція обчислює поправки, які передаються споживачам по радіоканалу у заздалегідь обумовленому форматі. Апаратура споживача приймає від опорної станції диференціальні поправки і враховує їх при визначенні місцезнаходження споживача. Результати, отримані за допомогою диференціального методу, у значній мірі залежать від відстані між об'єктом та опорною станцією. Застосування цього методу найефективніше, коли переважаючими є систематичні помилки, обумовлені зовнішніми (щодо приймача) причинами.

Тобто, диференціальний GPS - це різниця між „реальною” та „теоретичною” точками розташування об'єкту [5].

Висновки. Таким чином, система глобального позиціонування (GPS) була розроблена і запущена виключно у військових цілях США, початок розробки сягає середини 20 століття, але реальні роботи над системою почалися тільки в 1970-х роках.

Основні сфери застосування: військова галузь, транспорт, сільське господарство, телекомунікації, метеорологія, наука та особисте використання.

Основні складові системи глобального позиціонування (сегменти): космічний, сегмент керування та сегмент користувача.

Принцип роботи система глобального позиціонування (GPS) : супутники посилають радіосигнали з космосу на земні станції, в яких містяться зашифровані дані про час відправлення повідомлення і координати супутника. За відомими показниками часу і швидкості сигналу розраховується відстань. Для визначення місця розташування необхідно кілька супутників, які одночасно відправляють сигнал. Перетин відрізків від супутників до приймача і є місцем розташування приймача.

Найвідоміші на сьогодні системи супутникової навігації: ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - російська радіонавігаційна супутникова система, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР; Галілео – система супутникової навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства; Бейдоу - китайська супутникова система навігації; NAVSTAR GPS (Global Positioning System Navigation Satellite Time and Ranging) - високоточна супутникова система навігації, яка дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта, його широту,

довготу та висоту над рівнем моря, а також напрямом і швидкістю його руху. Комплекс NAVSTAR розроблений, утілений і належить Міністерству оборони США.

Недоліком усіх систем супутникової навігації є те, що за певних умов сигнал від супутників може надходити до приймача з затримкою або не надходити взагалі.

Вирішення основних недоліків систем супутникової навігації здійснюється за рахунок різновидів технологій: GPS, RTK, A-GPS, LBS та DGPS.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1) Коротка історична довідка утворення GPS навігації/ URL : <http://surl.li/nrlyf> (дата звернення 28.11.2023).

2) Офіційна інформація уряду США про Глобальну систему позиціонування (GPS). URL : <http://surl.li/ndcsg> (дата звернення 28.11.2023).

3) Про проблеми та перспективи переходу України до WGS-84. <http://surl.li/nrmwy> (дата звернення 28.11.2023).

4) Найвідоміші на сьогодні системи супутникової навігації. URL: https://xn--j1ahb.xn--j1amh/articles/GPS_GLONASS_AGPS_RTK/ (дата звернення 28.11.2023).

5) Системи GIS та основи технологій цифрового землеробства : практикум з елементами інтерактивного навчання / А.С. Кобець та ін. Дніпро. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2021. 117 с.

УДК 651.3:518.5

І.Ю.Семенюк

Луцький національний технічний університет

E-mail: ighorsemeniuk@gmail.com

АНАЛІЗ ГОТОВИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

В даній роботі було проведено аналіз готових рішень системи «Розумний дім» та виділено основні переваги та недоліки у реалізації. «Розумним будинком» можна управляти за допомогою комп'ютера, ноутбука і навіть КПК, який буде виконувати роль сервера. При цьому користувач отримує можливість управляти своїм будинком дистанційно. Для здійснення такого управління комп'ютер підключають до системи управління з бездротовим або провідним каналом передачі даних. Таким чином можна виконувати будь-які дії, доступні з сенсорної панелі. Більш того, управління «розумним будинком» стає можливим на відстані з використанням web-додатку, який встановлюється на будь-який комп'ютер, що має вихід в інтернет.

Ключові слова: розумний дім, протокол, система управління, IOT, девайс, WAP-технології, плагін, контролер, дистанційне керування.

I.Semeniuk. Analysis of ready solutions of the Smart Home system. Analysis of ready-made solutions of the "Smart Home" system was carried out and the main advantages and disadvantages of implementation were highlighted. A "smart home" can be controlled using a computer, a laptop, and even a PDA, which will act as a server. At the same time, the user gets the opportunity to manage his house remotely. To carry out such control, the computer is connected to the control system with a wireless or wired data transmission channel. In this way, you can perform any actions available from the touchpad. Moreover, management of the "smart house" becomes possible at a distance using a web application that can be installed on any computer with Internet access.

Keywords: smart home, protocol, control system, IOT, device, WAP technologies, plug-in, controller, remote control.

Постановка проблеми. Для зв'язку між елементами «розумного будинку» використовуються різні протоколи. З огляду на це, ми вирішили розглянути основні з них та проаналізувати переваги та недоліки для вибору найефективнішого рішення побудови «Розумного будинку».

Для управління системою «розумний будинок» можна використовувати програмне забезпечення чи бездротову мережу мобільного телефону, отримуючи, таким чином, різноманітну

інформацію зі свого будинку, наприклад, зображення камер або повідомлення протипожежних, охоронних та інших датчиків про нестандартної ситуації[1].

Що стосується готових рішень, то на даний момент можна виділити такі відомі фірми:

1. Mi Home/Aqara Home - це відомий Китайський бренд, з мабуть найкращим співвідношенням ціна та якість у лінійці пристроїв виробника. Є одним із найпростіших і недорогих способів здійснити самостійне підключення системи «Розумного будинку» в домашніх умовах. В арсеналі виробника є велика кількість різноманітних пристроїв, починаючи від датчиків відкриття дверей і закінчуючи пральними машинами та холодильниками. Передбачає використання різноманітних мережевих протоколів як в Z-Wave пристроях, так є і Zigbee, Wi-Fi, та Bluetooth протоколи зв'язку. Це означає, що при проектуванні системи РБ в конкретному проекті необхідно передбачити можливість виділення окремого Wi-Fi роутера для цих модулів, внаслідок існування можливості накладання частот.

Для зручності користувача в такій системі передбачено реалізацію додатка для смартфона, що надає, в тому числі, і дистанційне керування будинком. Також, додаток дозволяє через хмарну інтеграцію прив'язати до РБ безліч інших пристроїв різних виробників, наприклад, Sonoff і Philips Hue. Але при цьому недоліком даної системи є використання китайського хмарного сервера, через який відбувається взаємодія з пристроями. Це найкраще відображається на прикладі сценаріїв, яким необхідні умови локальної взаємодії, наприклад сценарій світанку та заходу, тобто локальна взаємодія з давачами де шлюз звертається до серверів розміщених на іншому кінці материка в Китайській Республіці. В свою чергу це накладає певні незручності, затримки та функціональні збої в системі.

2. Rubetek. Цей представник займається розробкою пристроїв для систем «Розумного будинку» та використовує бездротові протоколів RF 433 МГц (причому без зворотного зв'язку), Z-Wave і Wi-Fi. Широко поширений за рахунок своєї відносно недорогої ціни і представництв даних пристроїв в галузевих магазинах. Перевагами є доступність по фінансовій стороні та логістиці, але недоліком є часті проблеми з Wi-Fi мережею. Датчики, які працюють від батарейок витрачають свою ємність надто швидко, та потребують заміни уже за два три-місяці роботи.

3. Vera Plus. Це перша фірма, що претендує на «премійум» сегмент покупців, серед розглянутих систем. Дорогий контролер, який працює з більшістю популярних сучасних протоколів. Z-Wave Plus, Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac, Bluetooth 4.0 + BLE, ZigBee.

Причому система може вважатися першою «народною» системою з протоколом ZWave, що є вагомою перевагою даного виробника.

Підтримка сторонніх пристроїв у виробника теж на досить високому рівні. Головне управління девайсом відбувається через веб-інтерфейс, або додаток для смартфона, однак останній, в більшості своїх функцій, повторює те, що можна зробити з браузера, як дизайном, так і функціоналом. Веб-інтерфейс не особливо зрозумілий для користувача, однак все необхідне можна зробити в ньому без проблем. Із серйозних недоліків Vera можна відзначити невміння додавати пристрої без шифрування, якщо вони з шифруванням (не реалізоване розробниками - таке трактування стандарту - максимальна безпека). А в підсумку виходить, що два пристрої неможливо об'єднати, якщо один з шифруванням, а інший без нього.

Вагомим недоліком даної системи є те, що Vera зупинилися в розвитку, а з урахуванням бурхливого розвитку ринку - це практично процес морально старіння системи. Хоча у Vera є можливість установки плагінів, які можуть розробляти і встановлювати самі користувачі [3].

4. Fibaro Home Cente - це другий представник «премійум» сегменту фірма Fibaro. Дана система дозволяє підключати, як пристрої свого виробництва, так і сторонні. Працює виключно з протоколом Z-Wave, що є плюсом якщо планується розширення переліку девайсів для «Розумного будинку» іншими виробниками із використанням даного протоколу зв'язку. Система є менш стабільна ніж Vera Plus, але так само дорога, як і попередній представник. А з огляду на вартість Z-Wave периферії, яка до того ж має регіональні обмеження (наприклад, пристрої розроблені для Європи несумісні з пристроями, розробленими для країн СНГ (через різницю частот), розумний будинок вийде кінцевому користувачу в значну суму витрат. Причому система досить стабільно працює з власними пристроями, які випускає виробник Fibaro. Але при підключенні стороннього девайсу в систему може виникнути нестабільність роботи всієї системи.

5. Wirenboard. Наступний представник готових рішень може так називатися вельми умовно, але тим не менше. Це апаратний комплекс зі своїм контролером і купою різноманітних модулів. Може працювати як з периферією, яка підключається по проводах (включаючи різні датчики і виконавчі пристрої), так і з будь-якими підтримуються бездротовими пристроями через USB стіки,

наприклад, для протоколів RF433, Z-Wave або Zigbee. Причому деякі модулі, незабаром, будуть інтегровані в сам контролер. Проводові рішення вважаються надійнішими і користувачу не доведеться з певною періодичністю замінювати батареї, але у них є значний недолік - потрібно прокласти дуже багато проводів, що не завжди можливо.

Передбачена сумісність датчиків і реле інших виробників, але, звичайно, не абсолютно всіх девайсів. До недоліків цього пристрою можна віднести хіба, що незручний інтерфейс налаштування, а також величезний перелік різної периферії, в якому непідготовленій людині буде складно розібратися. Поряд з цим система дуже гнучка, що підходить для використання в якості контролера для «Розумного будинку» [2].

Висновки. Отже, «розумний будинок» – це житлове середовище сучасного типу, організоване для проживання людей за допомогою автоматизації і високотехнологічних пристроїв, що утворюють інтелектуальну систему управління для забезпечення узгодженої і автоматичної роботи всіх інженерних мереж будинку. Система «розумного будинку» грамотно розподіляє ресурси, знижує експлуатаційні витрати і забезпечує зрозумілий інтерфейс контролю і управління.

Нами було проведено огляд та аналіз систем «розумного будинку». В результаті аналізу було виявлено, перелік переваг та недоліків які є наданий час у сучасних системах управління для розумних будинків. Зазвичай це висока ціна, незручний інтерфейс, збій в роботі з Wifi .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Компанія IDOMUS Intelligent house. Протоколи Розумного Будинку. [Електронний ресурс] – URL: <https://idomus.company/>.
2. Dickson B. How to prevent your IoT devices from being forced into botnet bondage [Електронний ресурс] / Dickson. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://techcrunch.com/2016/08/16/how-to-prevent-your-iot-devices-from-being-forced-into-botnet-slavery/>.
3. An Overview of Home Automation Systems [Електронний ресурс]. 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/>.

УДК_330.47:004

С.Р. Ткачук, Н.І. Климаш

Державний торговельно-економічний університет
м.Київ

E-mail: s.tkachuk.frhtb.073.20@knute.edu.ua

ДІДЖИТАЛ-ТРАНСФОРМАЦІЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЕКОНОМІКИ: ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Дослідження присвячене трансформаційним процесам, пов'язаним з діджиталізацією, які відбуваються в українській економіці. Економічний розвиток не можливий без широкого впровадження та повноцінного використання цифрових технологій. Темпи впровадження цифрових інновацій зростають з кожним роком. При цьому слід зазначити, що процеси діджиталізації та трансформації бізнес-моделей, що відбуваються переважно на рівні приватних та державних підприємств, поширюються на рівень централізованого управління та мають значний вплив на конкурентоспроможність економіки. Сьогодні існує значна кількість проєктів цифрової трансформації в Україні. Загальна ідея полягає у створенні єдиної системи цифрових комунікацій.

Ключові слова: цифрова економіка, діджиталізація, інформаційні технології, IT, ІКТ, діджитал-трансформація економіки.

S.Tkachuk, N.Klymash. Digital transformation of the national economy: challenges and prospects. The study is devoted to the transformational processes related to digitalization that are taking place in the Ukrainian economy. Economic development is not possible without wide implementation and full use of digital technologies. The pace of digital innovation is increasing every year. At the same time, it should be noted that the processes of digitization and transformation of business models, which occur mainly at the level of private and state enterprises, extend to the level of centralized management and have a significant impact on the competitiveness of the economy. Today, there are a significant number of digital transformation projects in Ukraine. The general idea is to create a single system of digital communications.

Постановка проблеми. Конкурентоспроможність держав та регіонів залежить від бачення свого майбутнього та здатності досягати поставлених цілей за допомогою новітніх інформаційних технологій, тому зростаюче значення досліджень з питань діджиталізації економіки вимагає всебічного аналізу не тільки переваг, але й можливих ризиків та недоліків.

Темпи впровадження цифрових інновацій зростають з кожним роком. Збільшується кількість користувачів. Про це свідчать дані дослідження Hootsuite Global Digital 2019: в середньому щодня в Інтернеті з'являється понад мільйон нових користувачів. У 2019 році кількість мобільних користувачів зросла на 100 мільйонів (або на 2%) до 5,11 мільярдів; активних інтернет-користувачів - на 366 мільйонів (або 9%) до 4,39 мільярда; користувачів соціальних мереж - на 288 млн (або 9%) до 3,48 млрд; осіб, які користуються соціальними мережами на мобільних пристроях - на 297 млн (або 10%) до 3,26 млрд [1]. У жовтні 2019 року кількість активних користувачів інтернет-ресурсів в Україні становила 63% населення.

За даними Factum Group Ukraine, 70% користувачів постійно використовують для виходу в інтернет смартфон, 36% - ноутбук, 3% - робочі комп'ютери [2]. Трансформація економічних відносин призводить до діджиталізації операційних процесів та зміни бізнес-моделей, що загалом призводить до масштабної цифрової трансформації компаній. Зокрема, створено проект "Дорожня карта цифрової трансформації в агропродовольчій галузі", який допомагає підприємствам харчової та переробної промисловості долучатися до глобальних процесів діджитал-трансформації. Слід зазначити, що розвиток IT-технологій має постійну тенденцію до зростання і до 2027 року подвоїться вдвічі, як показано на рис. 1 [3].

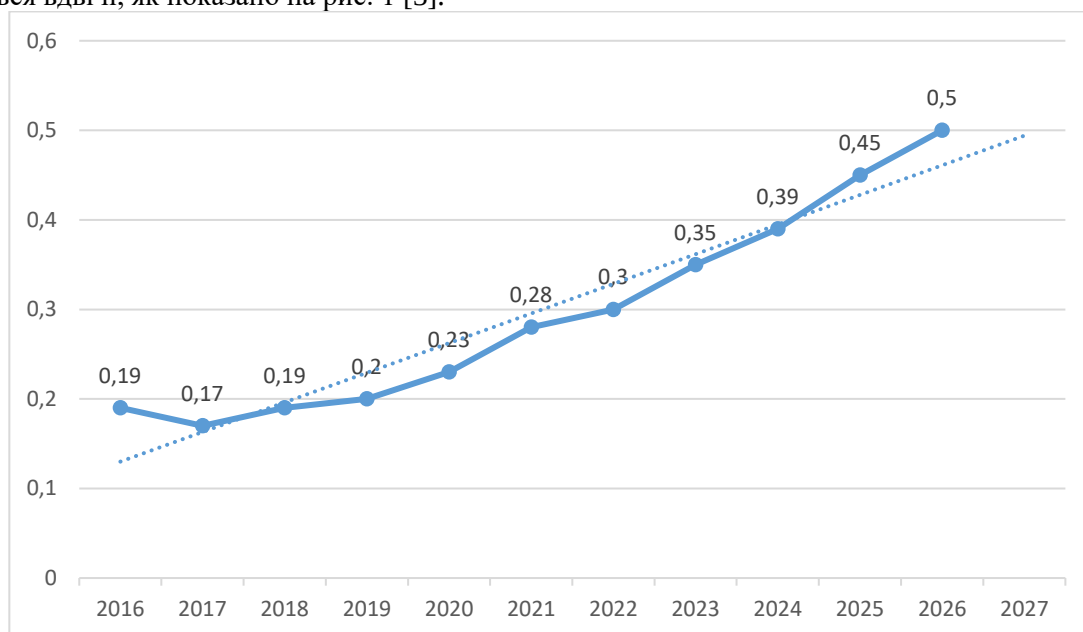


Рис. 1. Прогноз динаміки розвитку IT-послуг в Україні, млрд. доларів

Міністерство цифрової трансформації України розробило індекс цифрової трансформації у 24 регіонах країни та опублікувало результати за 2022 рік [4]. Індекс діджитал-трансформації регіонів дозволяє проводити порівняння, що важливо для аналізу, планування та впровадження цифрових реформ регіональною владою. Мета індексу - створити основу для дослідження рівня цифрової трансформації в обласних державних адміністраціях. Результати дозволять органам влади, аналітикам, розробникам та іншим зацікавленим сторонам оптимізувати процеси цифрової трансформації в регіонах.

Індекс охоплює такі сфери:

- інституційна спроможність;
- розвиток Інтернету;
- розвиток центрів надання послуг;
- надання "безпаперових" послуг;
- цифрова освіта;

- поширення базових електронних послуг;
- цифрова трансформація промисловості;
- візитівка регіону.

Формула 1

$$Index = \frac{\sum_s^n (w_s * x_s)}{n}$$

Результати дослідження 2022 року показують, що загальний індекс по Україні становить 0,650 балів з 1. Області з найвищими значеннями - Дніпропетровська (0,916), Тернопільська (0,910) та Одеська (0,836). Серед основних субіндексів найвищі значення спостерігаються в областях: "Розвиток центрів надання послуг" (0,771), "Безпаперове надання послуг" (0,691) та "Розвиток Інтернету" (0,683) [4].

Зважаючи на об'єктивний характер процесів діджитал трансформації економіки, слід враховувати неоднозначність майбутніх результатів. З одного боку, процесам цифрової трансформації передують поява додаткових можливостей, до яких, за результатами SWOT-аналізу, можна віднести можливість економії коштів та отримання додаткового прибутку, підвищення конкурентоспроможності продукції та компаній, спрощення роботи з базою даних, формування позитивного іміджу, підвищення попиту клієнтів до бренду. З іншого боку, існують загрози для безпеки даних та кібератак. Сильними сторонами цих процесів є постійний розвиток у соціальних мережах, насамперед за рахунок реклами продукції або компанії в цілому, а також спрощення процедур продажів (задоволення потреб споживачів у будь-який час і в будь-якому місці). Слабкими сторонами є недосконалість систем захисту даних, недосконалість програмного забезпечення (збої в роботі програм), тимчасова відсутність належного комп'ютерного та програмного забезпечення. До слабких сторін України в цілому можна віднести недостатній захист прав інтелектуальної власності, рівень розвитку банків та фінансових послуг, досить високі інвестиційні ризики, необхідність посилення кібербезпеки та наявність піратства, до сильних сторін - відносно легкість започаткування бізнесу, досить високу швидкість інтернет-з'єднання, електронну демократію, використання великих баз даних та відносно високу якість навчання.

У процесі цифрової трансформації, діджиталізації та зміни бізнес-моделі економіка має пройти кілька етапів, а саме: загалом визначити, до чого прагнути та уточнити стратегію розвитку (майбутня взаємодія, методи конкуренції, інструменти роботи з великими даними, напрямки та темпи інновацій, можливо, навіть змінити базові цінності), потім оцифрувати маркетинг та автоматизувати операційні процеси.

Варто розуміти, що цифрові трансформації вимагатимуть кадрових змін. Згідно з дослідженням [5], у найближчі роки бізнес-структури в усьому світі матимуть справу із ситуацією так званого кадрового голоду. Опитування понад 600 керівників вищої ланки, проведене Бостонською консалтинговою групою (BCG) у 2020 році, показало, що багатьом компаніям сьогодні не вистачає кваліфікованих фахівців для вирішення ключових технологічних викликів. Необхідно сформувати "цифрові таланти", наймати, навчати та утримувати висококваліфікованих спеціалістів, розвивати нові цифрові навички у наявного персоналу. Під час дослідження було проведено інтерв'ю з низкою рекрутерів та експертів у цифровій сфері, а також проаналізовано близько мільйона списків вимог до кандидатів. На основі виявлених потреб BCG розробила кадрову стратегію, яка передбачала: визначення сфери, де експерти - так звані "цифрові таланти" - будуть найбільш важливими, та розробила способи їх пошуку, залучення та навчання.

Визначено, що експертами, критично важливими для діджитал трансформації будь-якого бізнесу в будь-якій галузі, є:

- стратег цифрового підприємства, який повинен виконувати спрямовуючу функцію на всіх етапах функціонування digital-моделі;
- фахівець з автоматизації маркетингу, який за допомогою технологій штучного інтелекту забезпечує взаємодію зі споживачами в режимі онлайн;
- дизайнер користувацького інтерфейсу - фокусується на створенні інтерфейсу, користувацького досвіду програмних продуктів та розвитку цифрового потенціалу організації;
- data-scientist, працює в аналітичній групі та виявляє приховані взаємозв'язки та важливі закономірності в даних;
- SMM-менеджер, який обробляє базу даних;
- SMM-менеджер, який повинен знати основи маркетингу, вміти аналізувати потенційних споживачів, знати основи психології продажів, оцінювати активність у соціальних медіа,

використовувати різні методи у просуванні послуг через планування, рекламу, співпрацю з блогерами тощо [6].

Лідери змін повинні розуміти, що діджитал трансформація - це побудова нової стратегії, в якій всі процеси (клієнти, конкуренція, дані, інновації, основні цінності) оцифровуються та/або трансформуються з метою підвищення продуктивності праці, створення нових робочих місць, підвищення особистої ефективності працівників. Усі ці процеси призводять до підвищення конкурентоспроможності економіки і, як наслідок, підвищення рівня життя в Україні.

Висновки. Таким чином, слід підкреслити, що Україна, маючи значний людський ІТ-потенціал, працює нижче своїх цифрових можливостей. Заходи, передбачені прийнятими концепціями, закладають підвалини діджитал трансформації, спрямованої на оцифрування економіки та бізнес-процесів. Прискорена цифровізація, паралельно з трансформацією бізнес-моделей, може додати багатомільйонні надходження до економічного зростання, додаткові міжнародні інвестиції та підвищити міжнародну конкурентоспроможність. Для цього необхідно розуміти, що на сьогодні розвиток діджитал технологій є неминучим, і лише від нас залежить, наскільки ефективним він буде і в якому майбутньому ми будемо існувати.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Global Digital 2019 reports (Hootsuite, 221 p., 2019). URL: <https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates> (дата звернення: 17.11.2023)
2. Інтернет асоціація України. URL: <https://inau.ua/news/oglashenydannye-yssledovanyy-ynternet-audytoruy-ukraynu-za-3-kvartal-2019g> (дата звернення 18.11.2023)
3. Бізнес-погляди. URL: <http://publications.chamber.ua/2022/IT/theinfographics-report-it-industry-of-ukraine-2022.pdf> (дата звернення: 20.11.2023)
4. Мінцифри інформує про результати цифрової трансформації в регіонах України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mintsyfry-informuie-pro-rezultaty-tsyfrovoi-transformatsii-v-rehionakh-ukrainy> (дата звернення 20.11.2023)
5. Digital BCG. A Digital-People Strategy is Critical in Today's Changing Workplace (2020). URL: <https://www.bcg.com/d/press/19july2020-how-togain-digital-talent-skills-165720> (дата звернення 21.11.2023)
6. Нові діджитал-можливості під час війни: відбулася презентація програми «Цифрова Європа». URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/novi-didzhital-mozhливosti-pid-chas-vijn> (дата звернення 22.11.2023)

УДК 621.398

В. Ю. Заблоцький, О. О. Бондаренко

Луцький національний технічний університет

E-mail: v.zablotsky@lntu.edu.ua

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ

В статті досліджено питання розробки біометричної системи аутентифікації та управління доступом з використанням програмних модулів мікроконтролера Arduino. Розглянуто основні етапи організації процесу біометричного контролю доступу, визначено типову архітектуру та функціонал таких систем. Розроблена схема автономного контролера системи керування та управління доступом з можливістю передавання і зберігання інформації в загальній базі даних підприємства. Запропонована система реалізує оптимальний набір функцій охорони, управління і контролю доступу, структура відповідає характеристикам високої надійності та швидкого реагування, що дозволяє забезпечити скорочення часу видачі сигналу управління для виконавчого пристрою.

Ключові слова: аутентифікація, біометричний доступ, мікроконтролер Arduino.

The article examines the issue of developing a biometric authentication and access control system using Arduino microcontroller software modules. The main stages of organizing the process of biometric access control are considered, the typical architecture and functionality of such systems are defined. The scheme of the autonomous controller of the control and access control system with the possibility of transferring and storing information in the general database of the enterprise has been developed. The proposed system implements an optimal set of security, management and access control functions; the structure meets the characteristics of high reliability and quick response, which allows reducing the time of issuing a control signal to the executive device.

Keywords: authentication, biometric access, Arduino microcontroller.

Постановка проблеми. Багато промислових і технологічних систем вимагають надійної та ретельної аутентифікації для підтвердження заявленої особи, особливо в сфері національної та міжнародної безпеки та оборони. Розробка таких систем ведеться вже давно, включаючи вивчення біометричних особливостей людини, способів обробки і аналізу отриманої інформації, створення відповідних баз даних та поєднання способів ідентифікації особи за одним чи кількома параметрами. Проте, до сьогодні немає єдиного ефективного результату, тому що структура і функціонал таких систем залежить від значного ряду факторів – економічних, технологічних, а також етичних принципів і врахування норм чинного законодавства. Можна стверджувати, що такі системи є складними комплексом технічного і програмного забезпечення, впровадження яких може підвищити як надійність і безпеку організації процесів, так і дати певний економічний ефект, з точки зору обліку параметрів організації технологічних процесів. Відмітимо, що найпростіші унібіометричні системи ефективно виконують покладені на них завдання, проте володіють певними недоліками, що можуть прямо чи опосередковано призвести до неприйнятної помилки. З цієї причини дослідники приділяють велику увагу більш просунутій біометрії (її називають мультимодальною біометрією). Мультимодальна біометрична система включає принаймні дві унімодальні ознаки в одній ідентифікації. Чим вищий рівень біометричних параметрів інтегровано, тим більше захищена система, отже, краща гарантія безпеки. Це усуває деякі недоліки та покращує точність розпізнавання, незважаючи на зростання рівня складності організації телекомунікаційної системи біометричної аутентифікації. Проте досвід використання хмарних технологій дозволяє впроваджувати такі системи навіть дрібним підприємствам без значних затрат на модернізацію апаратного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проектування біометричної системи — це процес визначення архітектури, вибору відповідних апаратних і програмних компонентів і розробки ефективної політики адміністрування, щоб біометрична система задовольняла заданим вимогам. Вимоги до біометричної системи, як правило, визначаються з точки зору шести основних параметрів конструкції, а саме: точність, пропускну здатність, вартість, безпека, конфіденційність і зручність використання [1-3].

Біометричний контроль доступу можна використовувати для покращення систем безпеки будівлі чи об'єкта шляхом додавання додаткового рівня перевірки. На відміну від звичайних систем контролю доступу, які використовують карти доступу та/або коди, біометрична система контролю доступу використовує фізичні риси людини, такі як відбитки пальців, обличчя, вени на долонях і райдужну оболонку ока. Ці ознаки неможливо скопіювати, що покращує точність ідентифікації та аутентифікації. Окрім цього, біометричний контроль доступу також пропонує опцію безконтактного контролю доступу.

Біометрична система контролю доступу в основному складається з двох компонентів: обладнання біометричного терміналу та програмного забезпечення для керування доступом [4]:

1) Апаратне забезпечення біометричного терміналу (наприклад, термінал розпізнавання обличчя), яке аутентифікує користувачів шляхом порівняння їхніх біометричних даних із збереженою інформацією.

Біометричний термінал контролю доступу – це пристрій, який об'єднує біометричні зчитувачі або датчики, такі як камера для розпізнавання обличчя, датчик сканування відбитків пальців, сканер райдужної оболонки ока, тощо в одному компактному пристрої для забезпечення безпечного доступу без використання паролів. Найпоширеніші типи пристроїв контролю доступу на основі біометричних характеристик:

- термінал розпізнавання обличчя (з камерою),
- термінал розпізнавання відбитків пальців (зі сканером відбитків пальців),
- термінал розпізнавання райдужки (зі сканером райдужки),
- термінал розпізнавання вен долоні (з інфрачервоним світлом),
- термінал розпізнавання геометрії руки (зі сканером геометрії руки),
- термінал багатфакторної аутентифікації (із зчитувачем кількох датчиків, таким як зчитувач RFID-карт, сканер штрих-кодів або багатобіометричні сканери для створення більш гнучкого та надійного рішення безпеки для контролю доступу).

2) Програмне забезпечення для керування біометричним контролем доступу, яке реєструє інформацію користувача та біометричні дані, встановлює правила контролю доступу та навіть може віддалено керувати біометричними терміналами на кількох сайтах.

Програмне забезпечення для керування біометричним контролем доступу діє як канал між користувачами, адміністраторами та біометричними терміналами. Це дозволяє адміністраторам реєструвати користувачів із їх особистою інформацією, а також біометричними даними. Адміністратори також можуть використовувати програмне забезпечення для створення біометричних елементів керування та політик доступу, які контролюють доступ користувачів до закладу на основі часу доби, місця розташування та навіть статусу працівника (наприклад, новий найнятий працівник).

Крім того, деякі біометричні програмні рішення для контролю доступу надають можливості обліку робочого часу та відвідуваності, а також потужні засоби керування пристроями. Функції обліку робочого часу та відвідуваності дозволяють системі безпеки доступу контролювати доступ, а також відстежувати відвідуваність.

Постановка завдання. Дослідити можливості і умови організації систем контролю доступу з біометричною ідентифікацією.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо основні етапи організації процесу біометричного контролю доступу. Типовим прикладом цього може бути офісна будівля, де лише уповноважений персонал має доступ до дверей, контрольно-пропускних пунктів або певних зон. Весь робочий процес буде виглядати наступним чином:

1) Реєстрація користувачів: адміністратори можуть реєструвати користувачів або співробітників у системі керування доступом, скануючи їхні обличчя, відбитки пальців, райдужну оболонку ока чи вени на долонях тощо за допомогою біометричних термінальних пристроїв.

2) Налаштування прав доступу: після реєстрації користувачів адміністратори можуть призначати правила на основі ролей користувачів, надаючи їм дозвіл виконувати певні дії в системі. Коли процес було завершено та активовано, зареєстровані користувачі можуть використовувати свої біометричні облікові дані, щоб розблокувати двері та отримати доступ до безпечних зон у будівлі.

3) Запис біометричних даних під час отримання доступу: коли користувач намагається отримати доступ, біометричний термінал контролю доступу сканує його особисті параметри.

Сканування обличчя користувачів, сканування відбитків пальців або сканування райдужної оболонки ока фіксуються датчиками термінальних пристроїв.

4) Перевірка особи: системний контролер отримує інформацію та визначає, чи дозволено користувачеві входити в будівлю чи певні зони. Користувачам надається доступ, якщо їхні біометричні дані збігаються з даними зареєстрованих користувачів і встановленими правилами. Їм буде відмовлено, якщо їхні біометричні дані не збігаються (буде спрацьовувати сигнал тривоги в режимі реального часу).

5) Створення подій контролю доступу та звітів: система керування доступом відстежує, хто перебуває в будівлі або певній зоні в будь-який момент часу, і створює звіти на основі цієї інформації.

Відповідно до завдань і функцій можна сформувати типову архітектуру біометричної системи доступу (рис.1) [5].

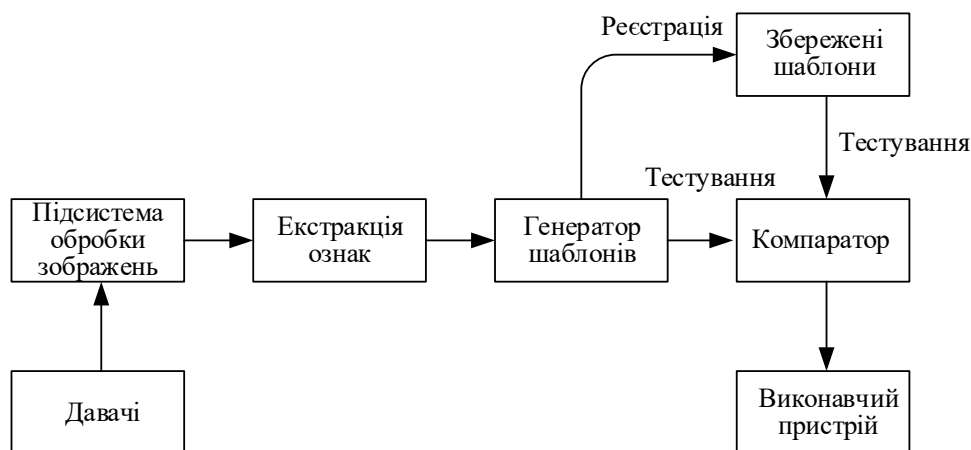


Рисунок 1 – Архітектура біометричної системи доступу

Архітектура біометричної системи складається з таких основних компонентів:

1. Давачі (термінальні пристрої, зчитувачі) - є першим блоком біометричної системи, який збирає всі важливі дані для біометрії. Це інтерфейс між системою та реальним світом. Як правило, це система отримання зображень, але це залежить від необхідних функцій чи характеристик.

2. Підсистема обробки зображень: це другий блок, який виконує всю попередню обробку отриманої інформації. Його функція полягає в покращенні вхідних даних і усуненні артефактів від датчика, фоновому шуму тощо. Щоб гарантувати, що продуктивність автоматичної системи ідентифікації/перевірки буде надійною, важливо включити алгоритм покращення отриманих зображень до модуля виділення ознак. Таким чином виконується сегментація зображення, нормалізація, оцінка орієнтації.

3. Екстракція ознак: це третій і найважливіший крок у біометричній системі. Щоб ідентифікувати їх на пізнішому етапі, слід виділити ключові ознаки. Метою засобу виділення ознак є характеристика об'єкта, який потрібно розпізнати за допомогою вимірювань.

4. Генератор шаблонів: генератор шаблонів генерує шаблони, які використовуються для аутентифікації за допомогою виділених ознак функцій. Біометричний шаблон — це набір вилучених точок (вектор чисел або зображення з чіткими ділянками), який зберігається в базі біометричних даних і використовується для ідентифікації та перевірки. Шаблони зберігаються в базі даних для порівняння та служать вхідними параметрами для відшукування співпадіння ознак.

5. Компаратор (порівнювач): у цьому блоці отриманий шаблон передається відповіднику, який порівнює його зі збереженими шаблонами за допомогою різних алгоритмів, таких як відстань Хеммінга – класичний метод для порівняння двох бінарних рядів даних однакової довжини. Після зіставлення вхідних даних будуть згенеровані результати.

6. Виконавчий пристрій: це пристрій, який використовує результати біометричної системи – контролер замків та зчитувачів.

В сукупності створюється система контролю та управління доступом (СКУД).

Ключовим елементом є сервер СКУД - місце зберігання базового програмного забезпечення, бази даних та додаткових модулів. Слід зазначити, що іноді для управління та роботою з усіма

пристроями буває достатньо одного комп'ютера, одночасно виконує функції сервера та автоматизованого робочого місця. Системні вимоги до сервера, як правило, невисокі, вони визначаються технічною документацією виробника.

Виходячи із запропонованого складу апаратних компонентів контролера СКУД на основі платформи Arduino, була розроблена структурна схема контролера, що представляє собою набір програмних модулів мікроконтролера Arduino схеми їх взаємозв'язку між собою, а також із вбудованими датчиками та інтерфейсними модулями. Розроблена схема представлена на рисунку 2. Крім того, запропонована структурна схема визначає набір інформаційних структур, що беруть участь у процесі функціонування контролера СКУД.

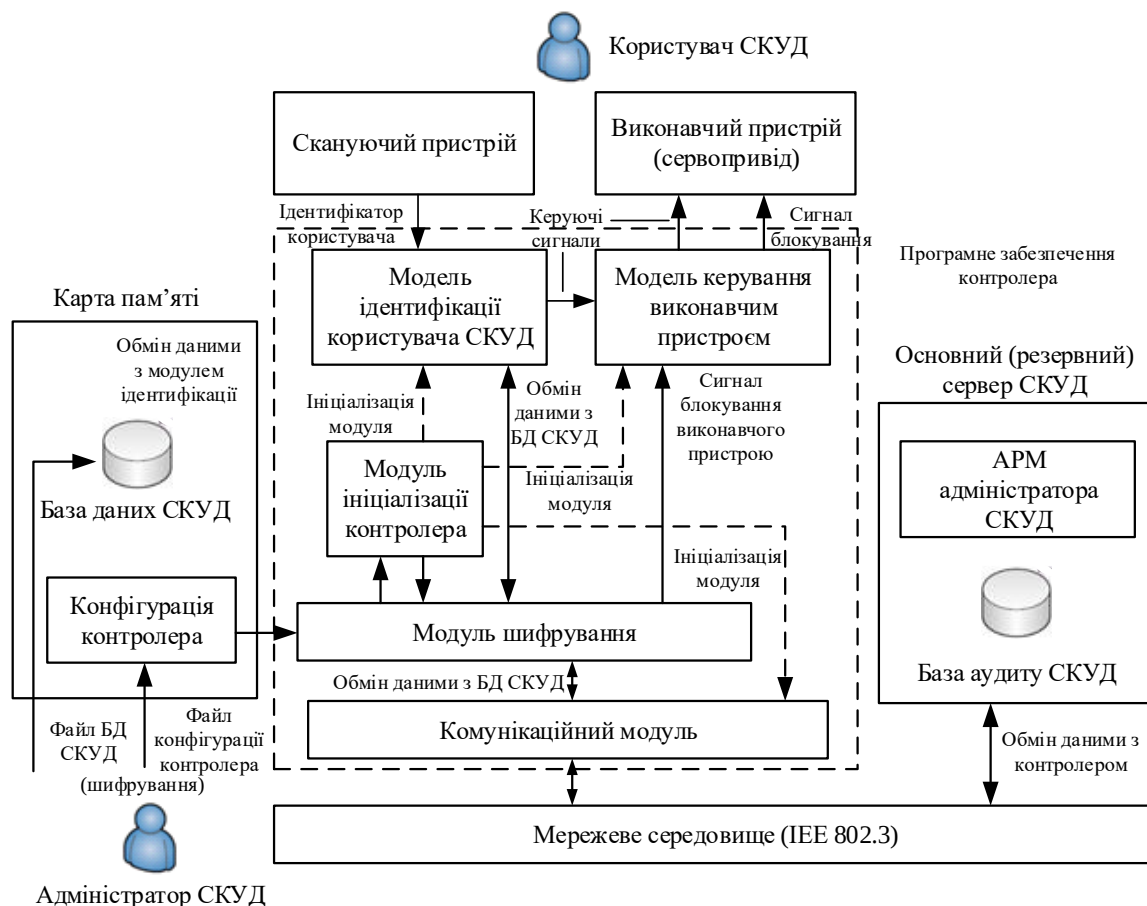


Рисунок 2 – Структурна схема системи контролю та управління доступом

Розробка структурної схеми контролера СКУД велася, виходячи з припущення, що контролер, що розробляється, буде автономним, однак, при цьому буде мати можливість підключення до локальної мережі забезпечення взаємодії із централізованим сервером СКУД.

Автономність контролера СКУД, що розробляється, пропонується забезпечувати шляхом зберігання бази даних користувачів СКУД на flash накопичувачі, що встановлюється в слот SD-карток на інтерфейсному модулі Ethernet Shield. Таке рішення дозволяє забезпечити скорочення часу вироблення сигналу управління для виконавчого устрою.

Паралельно інформація про ідентифікатор користувача буде дублюватися по мережі до бази аудиту сервера СКУД, що дозволяє зберігати відомості про процес функціонування сукупності автономних контролерів СКУД.

Особливості функціонування кожного конкретного контролера в складі СКУД пропонується конфігурувати з використанням спеціального конфігураційного файлу, що також зберігається на flash-накопичувачі.

Оскільки інформація бази даних СКУД та конфігураційного файлу, що зберігається на flash-карті, а також дані між контролером та сервером СКУД потенційно доступна для неавтоматизованого або зловмисної модифікації, одним із варіантів захисту цих даних є їх шифрування.

Висновки. На основі аналізу особливостей проектування біометричних систем доступу, запропонована архітектура типової системи управління доступом та розроблена схема автономного

контролера СКУД з можливістю підключення до локальної мережі підприємства. Запропонована система реалізує оптимальний набір функцій охорони, управління і контролю доступу, структура відповідає характеристикам високої надійності та швидкого реагування, що дозволяє забезпечити скорочення часу видачі сигналу управління для виконавчого пристрою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Shu Y. C, Gu Y. J, Chen J. M. Dynamic authentication with sensory information for the access control systems. IEEE Trans Parall Distrib Syst 25(2), 2014. P. 427–436.
2. Al-Hmouz R, Pedrycz W, Daqrouq K et al. Development of multimodal biometric systems with three-way and fuzzy set-based decision mechanisms. Int J Fuzzy Syst 20(1). 2018. P. 128–140.
3. Kumar N, Singh S, Kumar A. Random permutation principal component analysis for cancelable biometric recognition. Appl Intell 48(9). 2018. P. 2824–2836.
4. Geralde D. D, Manaloto M. M, Loresca D. E. D et al. Microcontroller-based room access control system with professor attendance monitoring using fingerprint biometrics technology with backup keypad access system. In: IEEE 9th international conference on humanoid, nanotechnology, information technology, communication and control, environment and management (HNICEM). 2017. 7p.
5. Biometric System Architecture <https://www.geeksforgeeks.org/biometric-system-architecture/> (дата звернення 10.10.2023)

УДК 001.891.5

В. Ю. Заблоцький, О. А. Мороз, І. В. Томчук, В. О. Сверба

Луцький національний технічний університет

E-mail: s.moroz@lntu.edu.ua

ЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗАТОР ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ

В даній роботі зроблений огляд функціональних особливостей логічного аналізатора. Розглянуті різновиди таких приладів, які існують на даний час та форми представлення інформаційних сигналів. Показаний зовнішній вигляд та основна плата логічного аналізатора Logic Analyzer 24MHz 8CH. Розглянуто налаштування системи логічного аналізатора та відображення отриманої інформації за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення «Saleae Logic». Наведені переваги логічних аналізаторів перед осцилографами.

Ключові слова: логічний аналізатор, мікропроцесорна електроніка, засоби діагностування, налагодження цифрових систем.

V. Zablotskiy, O. Moroz, I. Tomchuk V. Sverba. Logic analyzer as a tool for diagnosing radio electronic microprocessor devices. This paper reviews the functional features of the logic analyzer. The varieties of such devices that currently exist and the forms of information signal presentation are considered. Shown is the appearance and main board of the Logic Analyzer 24MHz 8CH. The configuration of the logic analyzer system and the display of the received information using the specialized software "Saleae Logic" are considered. The advantages of logic analyzers over oscilloscopes are given.

Keywords: logic analyzer, microprocessor electronics, diagnostic tools, debugging of digital systems.

Постановка проблеми.

Досить часто під час розроблення або налагодження радіоелектронних пристроїв, що, зазвичай, складаються з різних компонентів (мікроконтролер, АЦП, пам'ять I2C тощо) необхідно проаналізувати обмін інформаційних сигналів між компонентами. Для цього використовують різні прилади, найчастіше це цифровий осцилограф. Однак вартість чотирьохканальних осцилографів досить велика, а використання для досліджень може бути складне. В багатьох випадках для вирішення таких завдань простіше використовувати логічні аналізатори (ЛА). Логічний аналізатор за багатьма функціями схожий на осцилограф, але якщо основне завдання осцилографа фіксація та відображення зміни аналогового сигналу, то завданням логічного аналізатора є реєстрація та відображення дискретних сигналів з подальшим їх аналізом за допомогою спеціалізованих

програмних продуктів. Отже логічний аналізатор (англ. Logic Analyzer) – електронний пристрій, який може записувати і відображати послідовності дискретних (цифрових) сигналів. Він використовується для тестування, діагностування і відналагоджування цифрових електронних схем, наприклад під час проектування компонентів систем електроніки та телекомунікації, автоматичних електронних пристроїв. На відміну від осцилографів, логічні аналізатори, зазвичай, мають значно більше входів.

Для фахівців, які задіяні у сфері електроніки досить важливим є розуміння особливостей використання логічних аналізаторів для покращення своєї професійної діяльності.

Огляд актуальних досліджень з проблеми.

В даний час виділяють три різновиди логічних аналізаторів: модульні; портативні; на базі персонального комп'ютера (ПК) (апаратна частина під'єднується до ПК за допомогою на провідних або безпроводних технологій).

Передумою винаходу логічного аналізатора у 1970-их роках став розвиток інтегральних схем (IC), тобто один мікрочип збільшив на порядок виконання складних цифрових логічних операцій, які становлять основу для більшості мікроконтролерів, мікропроцесорів і програмованих вентильних матриць (FPGA). Зі збільшенням ступеня інтеграції мікросхем якісно змінилася межа складності систем, які реалізувалися на їх основі. [1, 2]. Перші доступні ЛА були обмежені тільки двома каналами. У наступні роки ЛА мали десятки каналів, які могли паралельно зчитувати і відображати цифрову логіку [3-5].

Логічний аналізатор має досить багато позитивних особливостей: запис декількох вхідних каналів; комплексний цифровий запуск; можливість аналізу цифрових і аналогових сигналів (змішаний аналізатор); портативність; легкість навігації за даними; панорама та масштабування цифрових даних; швидкі цифрові вимірювання; декодування і пошук переданих даних [6-8].

Формулювання цілей статті.

Сучасна мікропроцесорна електроніка стрімко розвивається. На різних стадія розроблення мікропроцесорних систем електроніки виникає необхідність тестування та діагностування як складових частин так і системи в цілому. В процесі пошуку складних несправностей у дискретних електронних пристроях виникає потреба одночасного спостереження декількох інформаційних сигналів складових частин схеми (одноразових і аперіодичних). Зараз є великий вибір апаратних засобів для такої діяльності. Саме тому необхідно раціонально вибирати засоби та програмні продукти для виконання досліджень. Актуальним є аналіз функцій, які виконують ЛА, можливості опрацювання записаних сигналів з різних каналів.

Основна частина.

ЛА поділяють на два основних типи: аналізатори мікропроцесорних систем на програмному рівні опису (embedded microprocessor software debug applications) - аналізатори станів (state analyser) та аналізатори цифрових систем на логічному та часовому рівні (hardware debug applications) - аналізатори часових співвідношень (timing analyser) [2].

Для налагодження та діагностування мікропроцесорних систем потрібно не тільки зафіксувати логічний стан, що передається по системній шині (магістралі), а й ідентифікувати інформаційні сигнали. Для цього вхідні канали аналізатора розбиваються на декілька груп. Одна група каналів фіксує адреси, друга - дані, третя реєструє команди та коди керування. Найбільш поширеною формою представлення цих ЛА є логічні часові діаграми, логічні таблиці станів або графічне зображення.

Одним з доступних засобів діагностування і налагодження цифрових систем є продукція компанії «Saleae» та їх репліки. Існує декілька різновидів ЛА на базі ПК із числом каналів від 4 до 16 і швидкістю запису від 100 МГц до 500 МГц [4].

Розглянемо ЛА Logic Analyzer 24MHz 8CH, який дозволяє відстежувати сигнали не тільки роботи входів та виходів, але й відомі протоколи зв'язку, які працюють на високих швидкостях. Загальний вигляд пристрою показаний на рис. 1.

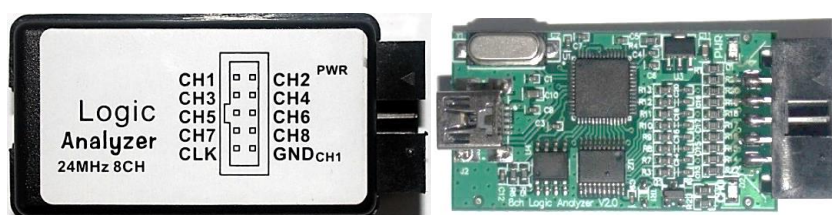


Рис. 1 – Зовнішній вигляд та основна плата Logic Analyzer 24MHz 8CH

Налаштування системи ЛА та відображення отриманої інформації виконується спеціалізованим програмним продуктом «Saleae Logic». За допомогою програми можна побачити всі записані часові проміжки, програмне забезпечення, що додається, ефективно працює з усіма основними протоколами зв'язку (UART, I2C, SWD, 1-Wire тощо) і дозволяє декодувати сигнали з наступним поданням у зручній для нас формі (десятькова, шістнадцяткова, ASCII тощо) (рис. 2). Для додавання в програмі аналізатора протоколу потрібно вибрати його з меню, яке розміщене на панелі аналізаторів та вказати, який канал за який інформаційний сигнал відповідає. Після додавання/редагування параметрів програми ЛА зчитує подані сигнали, програма автоматично обробляє усі зареєстровані в каналах дані (рис. 3,4).

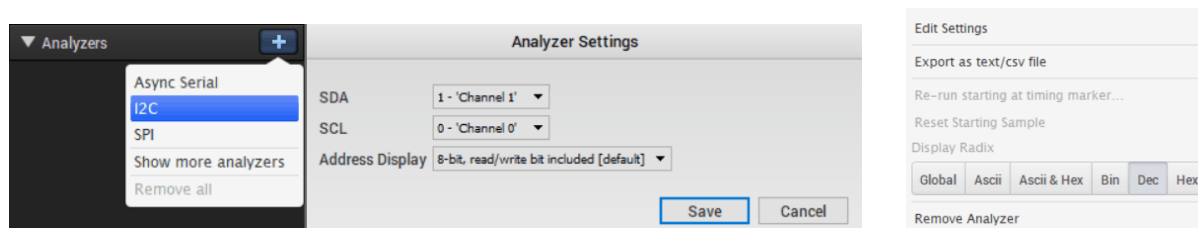


Рис. 2. – Меню вибору протоколів передачі та форми подання інформації

На рисунку 3 наведені результати передачі значення температури датчиком температури HTU21D по протоколі I2C.

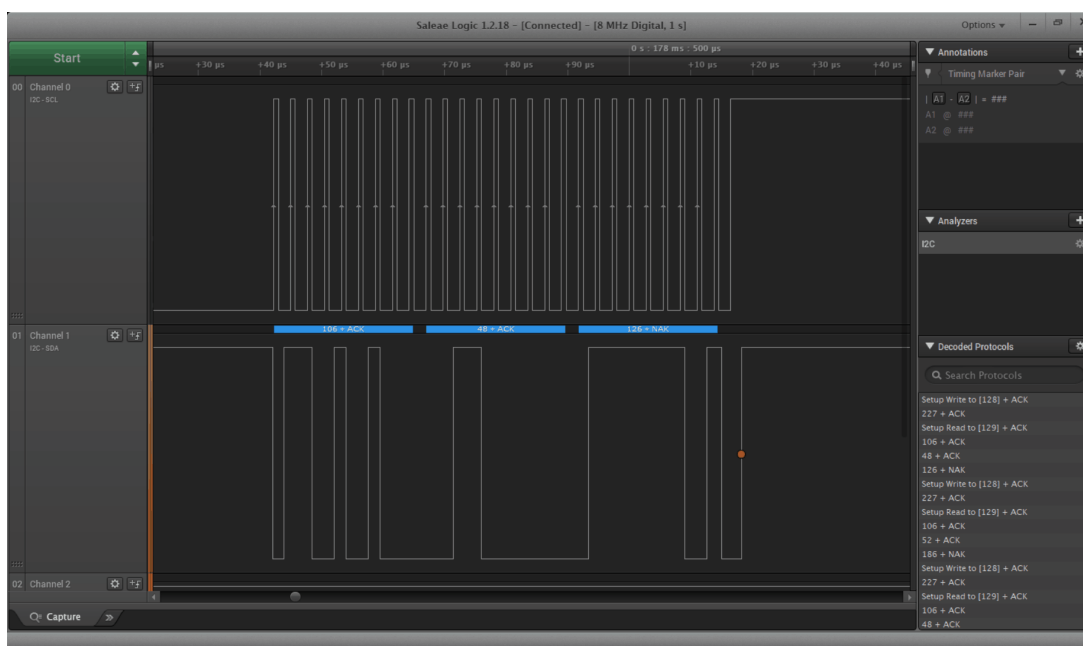


Рис. 3. – Фрагмент передачі інформації по протоколі I2C

На рисунку 4 наведені результати відправки даних від АЦП байта (48 = 0x30) інформації по послідовному порту UART. При цьому пересилається деяка команда для виконання на пристрої, яка дійсна при умові що на інший вхід подається сигнал низького логічного рівня.

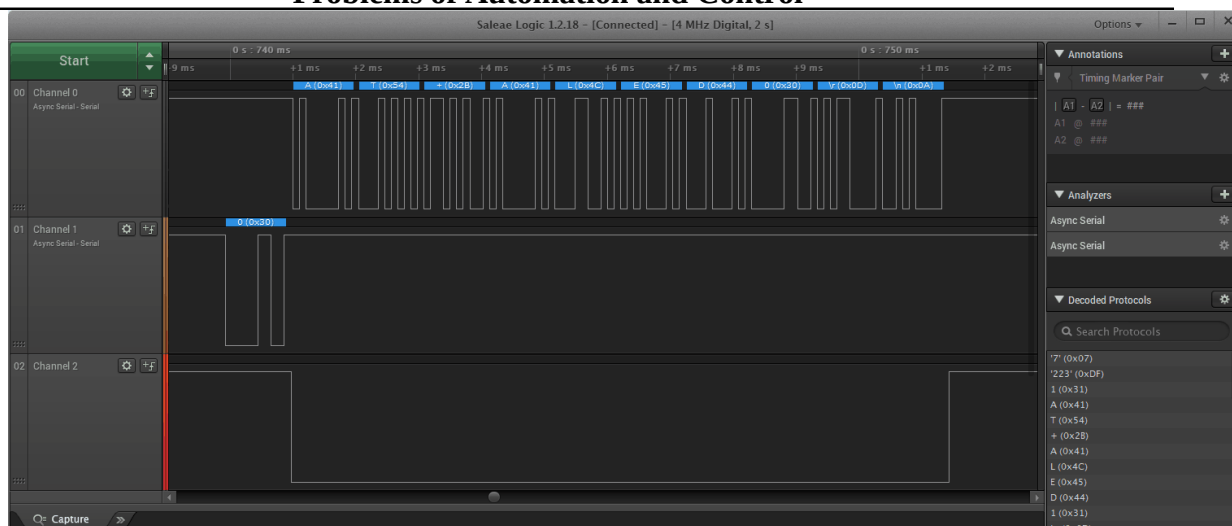


Рис. 4. – Фрагмент передачі інформації по послідовному порту UART

Крім того, що спеціалізований програмний продукт дає змогу у зручному вигляді переглядати детектовані інформаційні сигнали, їх об'єм та частоту зняття яких можна задавати програмно. Також передбачений режим маркерних вимірювань, вимірювань частоти та тривалості сигналів. Досить зручним є можливість експорту параметрів інформаційних сигналів у зручних форматах для документування. Для вимірювання часових параметрів інформаційних сигналів доступні наступні режими: тривалість (Width); період (Period); частота (Frequency); шпаруватість (Duty Cycle); абсолютне значення часу, що задане маркером T1; абсолютне значення часу, що задане маркером T2; час, що пройшов між маркерами $|T1 - T2|$. На рисунку 5 наведений приклад маркерних вимірювань, вимірювань частоти та тривалості інформаційних сигналів за допомогою ЛА.

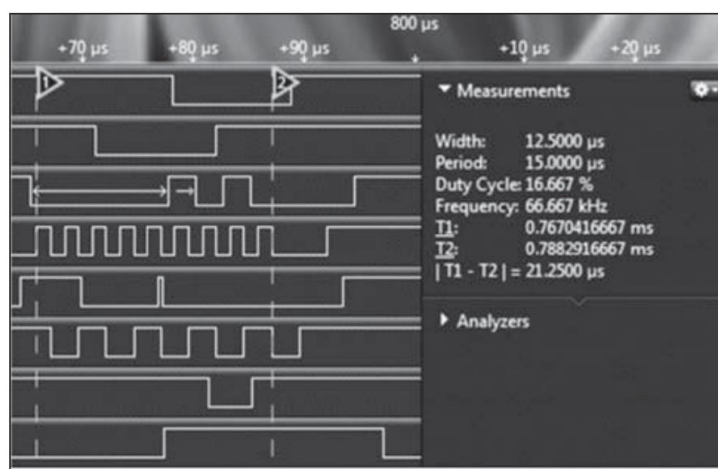


Рис. 5 – Фрагмент процедури встановлення параметрів цифрових сигналів.

Висновки.

Логічний аналізатор – потрібний та важливий інструмент, практично для усіх фахівців, які займаються проектуванням, налагодженням, діагностуванням радіоелектронних цифрових пристроїв та систем. ЛА корисний для випадків, якщо необхідно подивитися які інформаційні сигнали проходять в тій чи іншій частині пристрою або системи, що створюється. Відстеження та вивчення сигналів даних, команд, пошук помилок та джерел перешкод, фіксація подій в короткі проміжки часу та багато іншого – посилене завдання для логічного аналізатора. Тому його необхідно мати фахівцям та знати особливості роботи з ним.

Окрім того логічні аналізатори мають ряд переваг перед осцилографами: наявність більшої кількості каналів, ніж у осцилографа; можливість характеризування виходу цифрової схеми (наприклад, ПЛІС); можливість налагодження складної вбудованої прошивки шляхом перемикавання контактів введення/виведення загального призначення; можливість швидкого вимірювання і декодування різних цифрових протоколів; логічні аналізатори на базі ПК ефективно

використовують для налагодження та діагностування в польових умовах через їх невеликий розмір і портативність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Азаров О.Д., Перевозніков С.І., Біліченко Н.О., Озеранський В.С. Діагностування цифрових пристроїв. Навчальний посібник. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2019. 74 с.
2. Перцовський М., Воробйов Є., Трифонов А. Застосування логічних аналізаторів у тестуванні цифрової техніки. Сучасні технології автоматизації. 2018. № 2. С. 6-12.
3. Озеранський В.С. Перевозніков С.І. Особливості використання логічного аналізатора в системах покомпонентного діагностування цифрових пристроїв. Інтернет Освіта Наука: матеріали Х Міжнар. наук.- техн. конф. ІОН-2016, 11-14 жовт. 2016, Вінниця. 2018. С. 84-85.
4. Офіційна сторінка компанії Saleae. URL: <http://www.saleae.com/logic> (дата звернення 01.11.2023).
6. What Is a Logic Analyzer? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://articles.saleae.com/logic-analyzers/what-is-a-logic-analyzer> (дата звернення 02.11.2023)
7. Цирульник С. М. Методика застосування логічного аналізатора для дослідження інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем / С. М. Цирульник, В. М. Ткачук, В. І. Роптанов // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки. - 2018. - Т. 29(68), № 1(1). - С. 58-63.
8. Здолбіцька Н.В., Мельник Г.М., Мельник В.М., Колтунович О.В., Мазуренко В.В. (2020). Аналіз роботи послідовного протоколу UART за допомогою цифрового аналізатора. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (41), С. 165-173.

УДК 621.313

В.В. Лишук, А.Я. Погинець, Р.І. Барташук, Н.О. Кмитко

Луцький національний технічний університет

v.lyshuk@lntu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КЛЮЧІВ У ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

У статті запропоновано огляд сучасної елементної бази перетворювачів електричних сигналів, що побудовані на ключових елементах, таких як транзистори. Проаналізовано особливості внутрішньої структури транзисторних ключів та схем керування побудованих на них. Визначено області застосування основних типів електронних ключів, їх переваги та недоліки в порівнянні з іншими.

Ключові слова: транзистор, електронний ключ, комутація.

V. Lyshuk, A. Pohynets', R. Bartashchuk, N. Kmytko. Features of using electronic keys in converting technology. The article offers an overview of the modern element base of electrical signal converters built on key elements such as transistors. The peculiarities of the internal structure of transistor switches and the control circuits built on them are analyzed. Areas of application of the main types of electronic keys, their advantages and disadvantages in comparison with others are determined.

Key words: transistor, electronic key, switching.

Постановка проблеми. Технічний поступ суспільства, його комфорт та добробут нерозривно пов'язаний з прогресом пристроїв силової електроніки. Її важливість визначається зростаючою потребою в ефективних перетворювачах та регуляторах електричної енергії, особливо в наш складний час з точки зору використання альтернативних джерел енергії. Властивості та характеристики силових схем визначаються параметрами силових напівпровідникових приладів (СНПП). Висока якість напівпровідникових комутуючих ключів, їх унікальні характеристики відкривають довгострокові перспективи вдосконалення щодо функціонування електронних пристроїв [4].

Силовая електроніка є домінуючою технологією XXI-го століття. За останні роки попереднього століття з появою та розвитком повністю керованих приладів значно розширилися галузі застосування сигової електроніки – паливо-енергетичний комплекс, промисловість, електропривід на транспорті, зв'язок, авіація, побутова техніка тощо. Основна ідея розвитку приладів сигової електроніки полягає у переході від використання дискретних компонентів до силових електронних систем. До сучасного та перспективного перетворювального обладнання практично всі галузі висувають такі вимоги: зниження вартості; збільшення надійності; зменшення розмірів та ваги; створення конструкцій та функціональних можливостей, що забезпечать їх зручне використання.

Таким чином, сьогодні розвиток сигової електроніки визначається в основному не новими схемотехнічними рішеннями, а новими технологіями і матеріалами. З відносно нових схемотехнічних рішень можна відзначити двоключову схему комутації, що використовується у зворотньоходових і прямоходових перетворювачах [2, 3].

Роль напівпровідникового ключа полягає в комутації різних частин електричної чи електронної схеми. З огляду розробника сигової схеми, ключ повинен мати ідеальні властивості. Він повинен миттєво, при нульовій потужності керування, перемикає відносно великі струми та блокувати великі напруги, мати нульову залишкову напругу та струми витоку. Очевидно, що ключі, використовувані на практиці, можуть лише тією чи іншою мірою наближатися до «ідеальних». Оскільки вимоги електроприймачів щодо струмів навантаження, напруг, частоти і часу перемикання дуже широкі, не існує єдиного типу напівпровідникового ключа для універсального застосування. Сучасні тенденції розвитку сигової електроніки можна охарактеризувати двома напрямками: підвищення енергоефективності та зниження масогабаритних показників [1, 4].

Для їх реалізації потрібно вирішити протирічні завдання – збільшити частоту комутації і зменшити втрати в перетворювачі. Зменшення втрат досягається за рахунок використання нових матеріалів та технологій. При ключовому способі керування та регулювання прилад може знаходитися тільки у ввімкненому (провідному) або вимкненому (непровідному) стані. Час переходу з одного стану в інше мінімальний. На основі двох або більше вентильних приладів будуються двонаправлені ключі, що проводять струм у двох напрямках, або електронні ключі, здатні блокувати як пряму, так і зворотню напругу, тобто не проводити струм при прикладенні до них напруги протилежної полярності. Слід відмітити, що у наших задачах керування здійснюється потоком електричної енергії, а не потоком інформації.

Основна частина. На сьогодні серед усіх типів приладів сигової електроніки домінують основні два: польові MOSFET та біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT) та інтегровані структури на їх основі, тобто силові інтегральні схеми та гібридні модулі [5]. Традиційні прилади, з яких починалася силова електроніка: тиристори (SCR), включаючи запірні тиристори (GTO), біполярні транзистори (BPT) – в останні роки все більше і більше витісняються приладами з польовим керуванням.

Польові транзистори відіграють важливу роль у діапазоні малих та середніх потужностей. Опір у відкритому стані низьковольтних MOSFET (до 200 В) було зменшено за останні роки більш ніж у 10 разів. Це було досягнуто шляхом оптимізації геометрії комірки та використання технології втопленого каналу (trench-gate technology). Густина упаковки сучасних низьковольтних MOSFET сягає до 100 млн. елементарних комірок на квадратний сантиметр

На рис.1. показано області застосування приладів сигової електроніки в залежності від використання елементної бази на основі діодів, тиристорів та м транзисторів. Вісь у відповідає потужностям, вісь x – комутуючим частотам.

Як видно з рис.1 IGBT-транзистори мають більш високу пропускну спроможність по струму і нижчу напругу насичення, ніж MOSFET, в той час як MOSFET має більш високу швидкість перемикання і відповідно менші втрати при перемиканні, ніж IGBT.

Біполярні Дарлінгтон-транзистори, що досягли граничних електричних параметрів 1400 В/200 А (на чіп) і широко застосовувалися в останнє десятиліття минулого століття, поступово витісняються і замінюються біполярними транзисторами із ізольованим затвором (IGBT). IGBT-транзистори залишаються основними комутуючими ключами в силовій електроніці з робочими напругами до 8000 В.

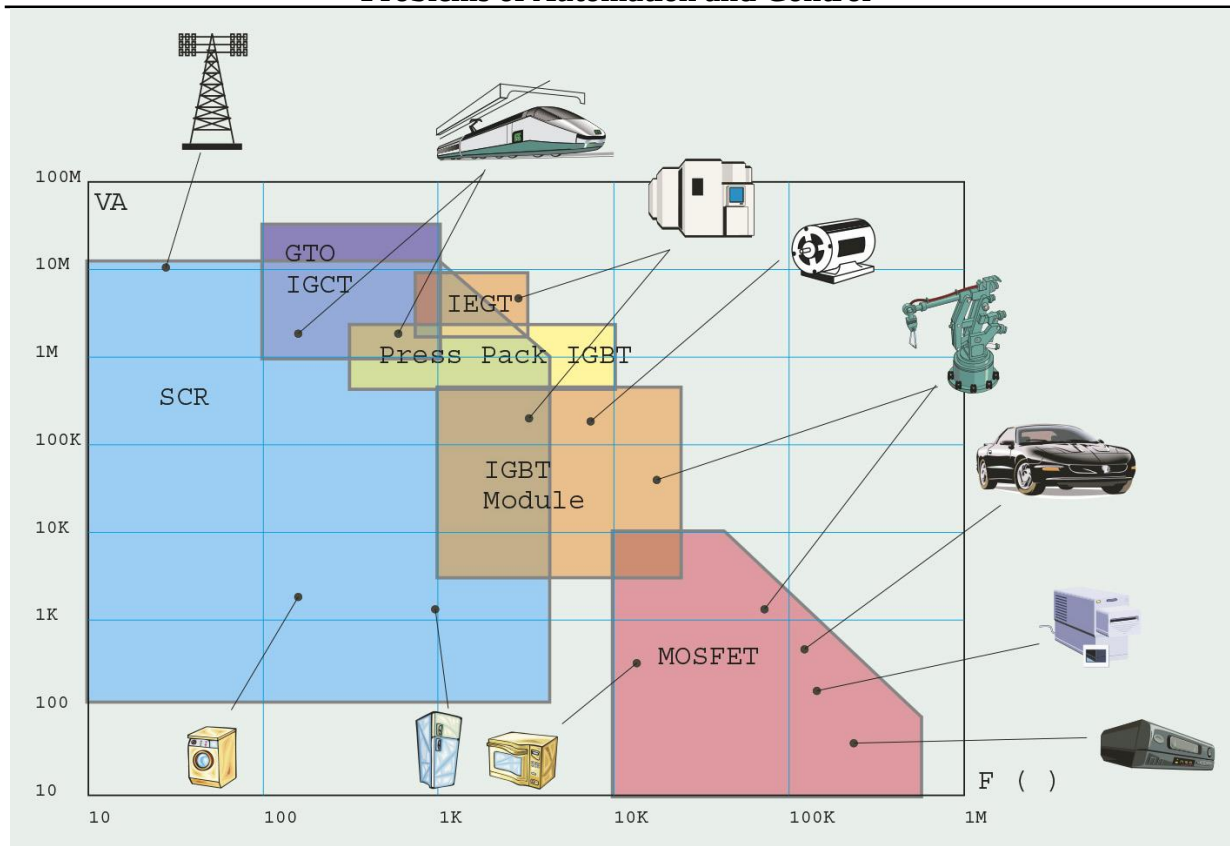


Рис.1 – Области застосування приладів силової електроніки

На рис.2. показано вигляд та електричні схеми транзисторів типу MOSFET та IGBT.

IGBT чи біполярний транзистор з ізолюваним затвором – це гібридний пристрій, що поєднує функції MOSFET і BJT технології, а MOSFET – це тип транзистора. IGBT має більш високу пропускну спроможність по струму і нижчу напругу насичення, ніж MOSFET, в той час як MOSFET має більш високу швидкість перемикання і менші втрати при перемиканні, ніж IGBT.

MOSFET широко використовується в низькочастотних і високочастотних пристроях, в той час як IGBT зазвичай використовується в пристроях з високою потужністю, таких як електроприводи. Його клеми є колектор, емітер та затвор. Колектор і емітер – це вихідні клеми, а затвор – вхідна клемка. MOSFET – напівпровідниковий прилад із чотирма виводами, керований напругою, який підсилює або перемикає сигнали електричних кіл. MOSFET-транзистори на сьогоднішній день є найчастіше використовуваними транзисторами. Він може бути виготовлений із напівпровідника р-типу або n-типу. Його клеми є витік, стік, затвор і корпус. Іноді клемка корпусу підключається до клеми витіку що робить його триконтактним пристроєм.

IGBT-транзистор має властивості провідності біполярного транзистора, але він керується напругою, як і польовий MOSFET-транзистор. Оскільки він керується напругою, для підтримки провідності через пристрій потрібна лише невелика напруга. Пристрій може працювати з великими струмами колектор-емітер з нульовим приводом затвора. Серед трьох його виводів виводи колектора та емітера пов'язані з провідністю, а вивід затвора пов'язаний з керуванням.

IGBT ідеально підходить для пристроїв з високими напругами та струмами. Він використовується для швидкого перемикання з високою ефективністю у кількох електронних пристроях. IGBT використовуються в різних пристроях, таких як приводи двигунів змінного та постійного струму, імпульсні джерела живлення (SMPS), інвертори, нерегульовані джерела живлення (UPS), керування тяговими двигунами та індукційне нагрівання.

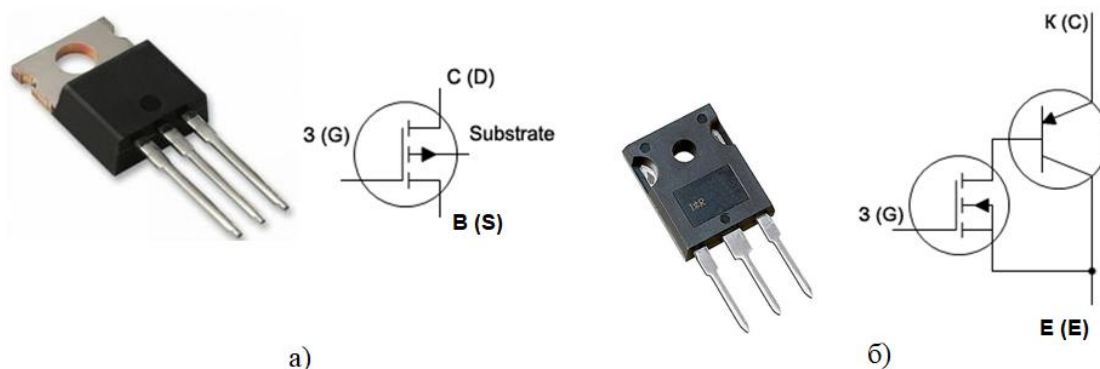


Рис.2 – Вигляд та схема MOSFET-транзистора (а): 18 А 200 В, IGBT-транзистора (б): 45 А, 600 В.

У табл. 1 показано порівняльні характеристики MOSFET та IGBT-транзисторів.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики MOSFET та IGBT-транзисторів.

Параметр порівняння	MOSFET	IGBT
Частота	Частота перемикачів вища	Частота перемикачів менша
Розв'язки	Не має <i>p-n</i> переходів	Має <i>p-n</i> переходи
Носії заряду	Основними носіями є електрони	Основними носіями є електрони та дірки
Роз'єми	Стік, витік, затвор, корпус	Колектор, емітер, затвор
Електростатичний розряд	Електростатичний розряд може пошкодити шар оксиду металу	Стійкий до розрядів

В даний час для керування двигунами виконавчих механізмів та різного роду перетворювачів, таких як інверторів в якості електронних перемикачів застосовують транзистори, а сигнали на перемикач генеруються цифровими інтегральними схемами або мікроконтролером. Для аналізу електромагнітних та електронних процесів у силових електронних пристроях використовуються різні математичні моделі ключів, що відображають реальні процеси з різною точністю. Узагальненою є модель ідеального ключа [5]. Ідеальний ключ має такі характеристики:

- у вимкненому стані струм у ключі відсутній, у ввімкненому стані напруга дорівнює нулю;
- перехід із ввімкненого стану у вимкнений і зворотно відбувається миттєво;
- потужність, що витрачається на керування ключем, дорівнює нулю.

Модель ідеального ключа дозволяє істотно попростити аналіз електромагнітних процесів і скоротити час їх розрахунку. Однак застосування моделі ідеального ключа може привносити в результати аналізу похибки, так як в цьому випадку не враховуються нелінійний характер опору ключів, тривалість комутаційних процесів тощо.

Принцип дії MOSFET-транзисторів заснований на зміні електричної провідності на межі діелектрика і напівпровідника під впливом електричного поля. В якості діелектрика використовуються оксиди, наприклад діоксид кремнію SiO_2 .

Розглянемо принцип керування MOSFET-транзистором, структура якого складається із шарів металу, діелектрика та напівпровідника з провідністю *n*-типу (рис.3). Якщо до цієї структури підключити джерело напруги *E* додатним виводом до металу, то дірки напівпровідника будуть переміщатися в напрямку від'ємного потенціалу зовнішнього джерела, збіднюючи основними носіями заряду шар, що межує з діелектриком.

При зміні полярності напруги зовнішнього джерела відбувається збагачення дірками цього поверхневого шару. При напрузі зовнішнього джерела поблизу границі з діелектриком утворюється тонкий шар, в якому електрони переважають над дірками, тобто в напівпровіднику з'являється шар з інверсним типом провідності *n*-типу. Цей індукований шар називають каналом. Його електрична провідність, а отже, і опір залежить від напруги зовнішнього джерела [4].

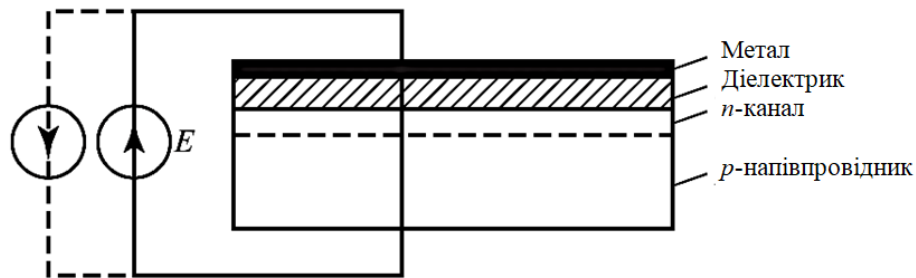


Рис.3 – Принцип утворення n -каналу в напівпровіднику p -типу під впливом електричного поля

Розрізняють MOSFET-транзистори з індукованим і вбудованим каналами. Ці типи транзисторів мають наступні виводи: стік (D), витік (S), затвор (G), і вивід від підкладки (B), з'єднаний з витоком. В залежності від типу електричної провідності каналу виділяються транзистори з n - і p -типами каналів. На рис.4 зображена структура та позначення таких транзисторів з каналами n -типу.

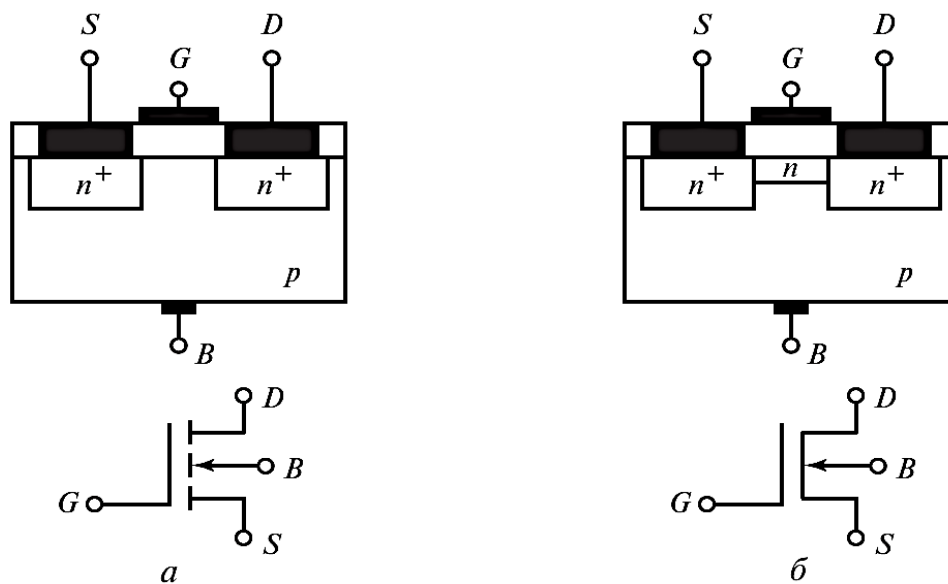


Рис.4 – Структури і позначення MOSFET-транзисторів з провідним каналом n -типу:
а) з індукованим каналом; б) з вбудованим каналом

Для пониження опорів областей, з'єднаних з виводами транзистора, їх проектують з підвищеним вмістом носіїв заряду. Такі шари позначають доповнювальним верхнім індексом, наприклад n^+ -типу. В транзисторах з індукованим каналом останній утворюється тільки при подачі напруги відповідної полярності на керуючий затвор відносно об'єднаних виводів витоку і підложки. В результаті вони працюють в режимі збагачення, що дає змогу керувати потоком стоку.

В транзисторах з вбудованим каналом струм в колі стік-витік протікає і при відсутності напруги на затворі. Для керування цим потоком на затворі можна подавати напругу більше нуля для збагачення каналу або менше нуля для його збіднення носіями заряду.

Принциповою відмінністю MOSFET-транзисторів від біполярних є те, що вони керуються напругою, а не струмом. Основні процеси в MOSFET-транзисторах зумовлені одним типом носіїв заряду, що підвищує їх швидкість, тому їх називають уніполярними транзисторами.

Бажання об'єднати в одному транзисторі властивості біполярного і польового транзисторів привело до створення IGBT-транзисторів [6, 7]. Виконаний в одному кристалі, він має низькі втрати потужності у ввімкненому стані подібно до біполярного транзистора та високий вхідний опір колам керування, що характерно для польового транзистора. Структуру, еквівалентну схему та символічне позначення IGBT-транзистора показано на рис.5.

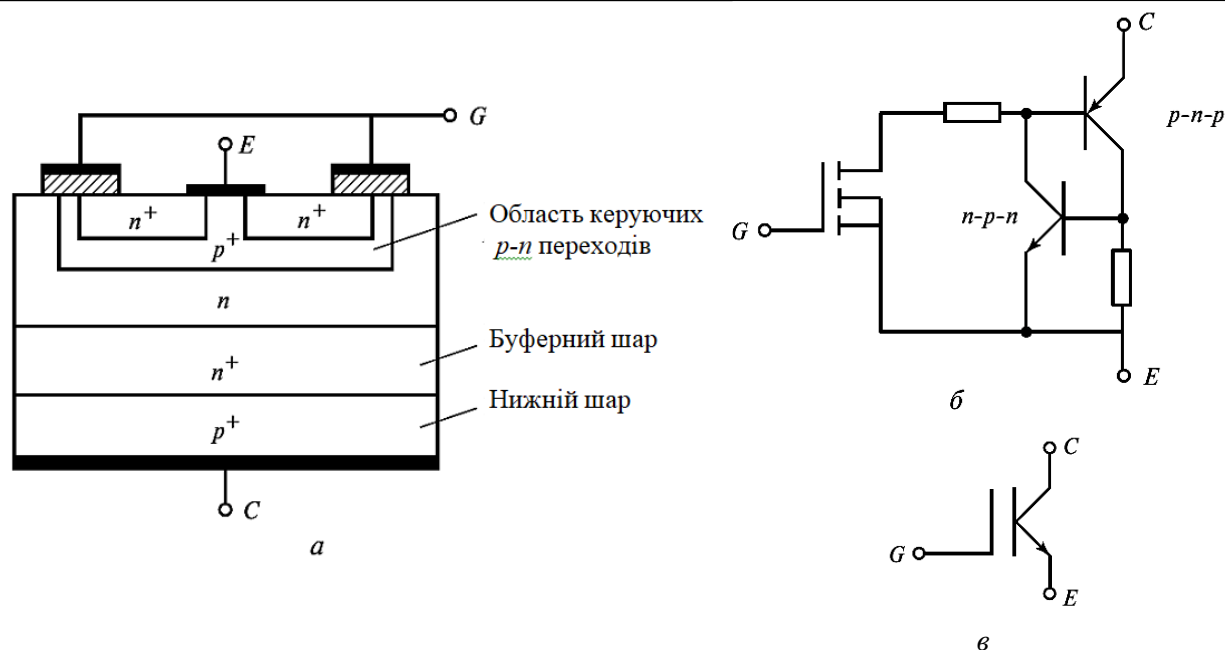


Рис.5 – IGBT-транзистор: а) структура; б) еквівалентна схема; в) символічне позначення

Структура IGBT-транзисторів багато в чому подібна структурі MOFSET. Різниця полягає в наявності нижнього шару з провідністю p^+ -типу, який надає IGBT властивості біполярного транзистора. Вихідне коло складається з біполярного транзистора типу $p-n-p$, а додатковому $p-n$ -переходу відповідає транзистор $n-p-n$ -типу. При відсутності напруги на затворі транзистор вимкнений. Ввімкнення транзистора з каналом n -типу забезпечує подачу додатної напруги на затвор відносно емітера.

Висновки. У роботі проведено аналіз та області застосування силових напівпровідникових структур на прикладі транзисторних ключів. Обґрунтовано фізичні основи функціонування таких ключів, частотний діапазон їх застосування, переваги та недоліки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жуйков В.Я., Рогаль В.В., Будьонний О.В., Пілінський В.В. Енергетична електроніка. Електронний підручник. К. 2008.
2. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. Київ. 2010. 264 с.
3. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. К.: Текст, 2006. 488 с.
4. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків. 2015. 403 с.
5. Шавьолкін О. О. Енергетична електроніка: навч. посібник. Київ. 2017. 396 с.
6. Dawidziuk J. Power Losses in PWM Inverter Using IGBT Devices. Технічна електродинаміка. Спец. вип.: Силова електроніка та енергоефективність. Київ. 2006. Ч.5. С. 9–12.
7. FZ250R65KE3. IGBT-Module: Technical Information. Infineon. URL: <https://www.yic-electronics.my/datasheet/e1/FZ250R65KE3NPSA1.pdf>. (дата звернення 11.11.2023 р.).

ПРОГРАМАТОР USBASP ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ AVR

В даній роботі зроблений огляд різновидів програматорів, які суттєво відрізняються за функціональністю. Існує багато кваліфікаційних ознак за якими розрізняють програматори. За типом програмуємих мікросхем це вузькоспеціалізовані, умовно-універсальні, універсальні програматори. За складністю: прості та складні програматори. За підключенням мікросхеми до програматора розрізняють паралельні та внутрішньосхемні програматори. Розглянутий програматор AVR USBASP, який дозволяє працювати з усіма мікроконтролерами сімейства AVR компанії ATMEL з режимом послідовного програмування.

Ключові слова: програматор, мікроконтролер, внутрішньосхемне програмування, програмний інтерфейс.

S. Moroz, T. Tsiz, A. Karpyak, P. Sakharchuk. USBASP programmer for programming AVR microcontrollers. This work provides an overview of the types of programmers that differ significantly in terms of functionality. There are many qualifications by which programmers are distinguished. According to the type of programmable microcircuits, these are highly specialized, conditionally universal, universal programmers. By difficulty: simple and complex programmers. According to the connection of the chip to the programmer, parallel and in-circuit programmers are distinguished. The considered AVR USBASP programmer, which allows you to work with all microcontrollers of the ATMEL AVR family with serial programming mode.

Keywords: programmer, microcontroller, in-circuit programming, software interface.

Постановка проблеми.

Розвиток сфери напівпровідникової мікроелектроніки сприяв стрімкому розвитку мікропроцесорних пристроїв та техніки, яка широко використовувалась як в промисловому виробництві для автоматизації роботи об'єктів та процесів, так і в побутових пристроях та системах які використовує людство. Основою таких електронних пристроїв та систем є різноманітні мікроконтролери, які мають мікропроцесор, оперативну та постійну пам'ять для збереження керуючого коду програм і даних, блоки зі спеціальними функціями, зокрема лічильники, компаратори, АЦП тощо та порти вводу-виводу. Для якісного функціонування такої техніки необхідні пристрої, які допомагають програмувати такі мікросхеми. Для цього використовуються програматори – програмно апаратні пристрої, які сконструйовані та виготовлені з метою занесення виконуваного коду програм в постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП). Різновидів програматорів є досить багато. І вони також суттєво відрізняються за функціональністю.

Огляд актуальних досліджень з проблеми.

Існує багато кваліфікаційних ознак за якими розрізняють програматори. Наприклад за типом програмуємих мікросхем виокремлюють вузькоспеціалізовані програматори, що підтримують мікропроцесори тільки заданого типу або виробника; умовно-універсальні програматори, що програмують мікропроцесори багатьох типів; універсальні програматори, які підтримують мікропроцесори усіх типів та фірм. За складністю виокремлюють прості програматори, які підключаються до COM-, LPT- або USB-порту та використовуються, якщо потрібно один або декілька разів здійснити програмування мікроконтролерного пристрою. Фахівці, які займаються розробленням різноманітних програм керування, використовують більш складні програматори, які мають свій власний мікроконтролер та як правило, працюють з одним або двома різновидами мікросхем. Для складніших випадків застосовуються універсальні програматори в яких кожен з виводів роз'єму подає на мікросхему напругу від 0 до 27 В з точністю в 0,1 вольт і частотами до 40 МГц. За підключенням мікросхеми до програматора розрізняють паралельні програматори, які мають роз'єм для мікросхем та внутрішньосхемні програматори які придатні до внутрішньосхемного програмування та здійснюють прошивку мікросхеми, не виймаючи її з пристрою. За підключення до ПК виділяють програматори з послідовним портом, з паралельним портом, з USB-портом, з портом Ethernet. Для фахівців, здобувачів освіти для яких виникає

необхідність у програмуванні мікроконтролерів досить перспективним є використання USB-програматорів [1-5].

Формулювання цілей статті.

Оскільки сучасні електронні пристрої та системи в більшості випадків складаються з мікроконтролерів, які мають властивість перепрограмовуватися, тобто виконувати різні записані команди за необхідності. Дана процедура здійснюється за допомогою різних типів мікроконтролерів. Наразі є великий вибір апаратних засобів для такої діяльності. Саме тому необхідно раціонально вибирати пристрої для програмування. Актуальним є аналіз особливості функціонування програматорів, які використовуються для тих чи інших типів мікроконтролерів.

Основна частина.

Досить поширеним сімейством мікроконтролерів є серія AVR. Для того, щоб записати програму в AVR мікроконтролер зручно користуватися USB-програматором, як одним із найбільш надійних та зручних варіантів. Зокрема програматор AVR USBASP дозволить працювати з усіма мікроконтролерами сімейства AVR компанії ATMEL з режимом послідовного програмування.

У готових пристроях програматор підключається до мікроконтролера через інтерфейс ISP (In System Programming) - інтерфейс внутрішньосистемного програмування. ISP інтерфейс представляє собою декілька провідників, за якими надходить тактовий сигнал і дані для зв'язування програматора з мікроконтролером.

Як правило, ISP інтерфейс розміщують на платах у вигляді десяти або шести контактів, до яких за допомогою відповідного конектора через шлейф підключається програматор.

Призначення пінів в ISP інтерфейсі наступне: VCC - плюс живлення, як правило +5В; GND - мінус живлення, земля (Ground); MOSI - вхід даних для послідовного програмування (Master Out Slave In); MISO - вихід даних для послідовного програмування (Master In Slave Out); SCK - тактовий сигнал (Serial Clock); RST - для подачі сигналу скидання (Reset).

Для внутрішньосхемного програмування мікроконтролера достатньо всього 4 піна, оскільки живлення мікроконтролера може здійснюватися від самої схеми, де він встановлений.

Цей програматор безпечний у використанні, має невеликі розміри та підтримується більшістю програм для прошивки мікроконтролерів AVR. USB-програматор працює під операційними системами Linux, Mac OS X та Windows. Для Linux ніяких драйверів не потрібно встановлювати, після підключення програматора до USB порту пристрій відразу ж визначиться і буде готовий до використання.

На рисунку 1 наведено розпінування конекторів програматора USBASP ISP-AVR V2.

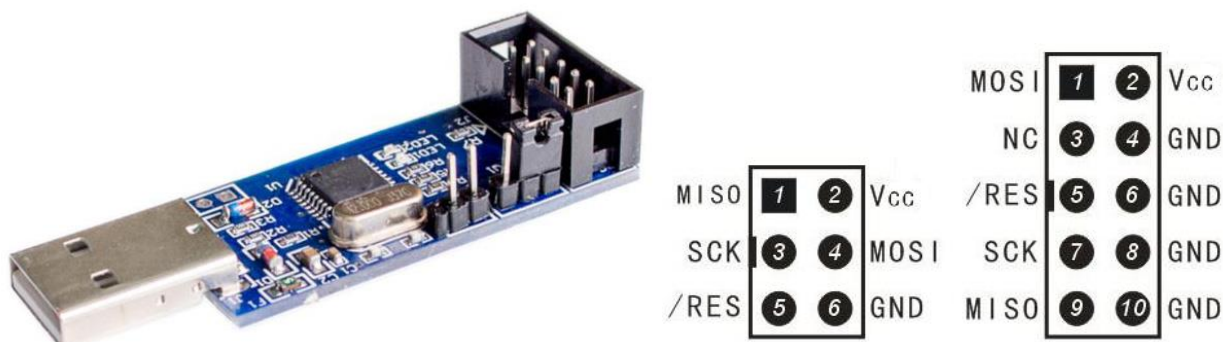


Рис. 1. Зовнішній вигляд та розташування контактів на роз'ємах конектора програматора USBASP ISP-AVR V2

USB-програматор має можливість працювати з високою частотою SCK = 375 кГц та низькою частотою SCK = 8 кГц. Той чи інший режим встановлюється за допомогою джампера на платі пристрою.

Для роботи із програматором потрібен програмний інтерфейс для ПК. Виробником рекомендується використовувати GUI для AVRDUDE під назвою «SinaProg» - це програмна оболонка, яка призначена для роботи з консольним програматором. Всі налаштування в «SinaProg», у тому числі прошивку мікроконтролера і конфігурацію ф'юз-бітів, можна здійснити за декілька операцій в графічній оболонці.

На рисунку 2 представлена електрична принципова схема програматора USBASP.

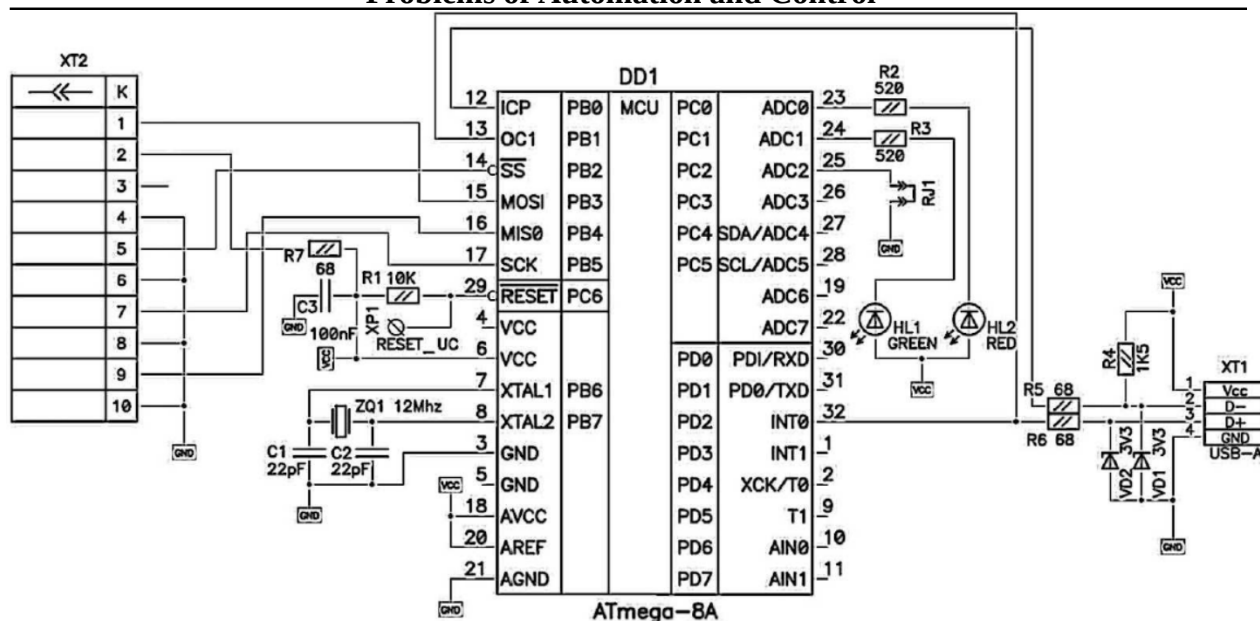


Рис. 2. Електрична принципова схема програматора USBASP.

Висновки.

USB-програматор має можливість забезпечувати можливість зчитування інформації з ПЗП мікросхеми. Поряд з основними режимами програмування і зчитування, багато мікросхеми мають безліч додаткових режимів: очищення, закриття від зчитування, захист від програмування тощо.

Аналіз інформаційних джерел показав, що програмуючий пристрій підтримує мікросхему, якщо:

- всі алгоритми реалізовані відповідно до вимог специфікації на мікросхему;
- забезпечує роботу з мікросхемою у всіх режимах, передбачених розробником даної мікросхеми.

Незважаючи на велику кількість різновидів програматорів, на нашу думку, програматори USBASP ISP-AVR V2 будуть досить корисними для набуття знань та навичок програмування мікроконтролерів здобувачами освіти, фахівцям, які займаються налагодженням та ремонтом мікропроцесорної техніки тощо.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. Вінниця : ВНТУ, 2018. 111 с.
2. Мікропроцесорна техніка: Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. М. В. Коржик. Електронні текстові дані (1 файл 1 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 47 с.
3. Терещенко Т. О. Мікропроцесорні пристрої: навч. посібник для студентів зі спец-ті «Електроніка» / Т. О. Терещенко, В. А. Тодоренко, Л. М. Батрак, Ю. С. Ямненко. К.: Кафедра, 2017. – 244 с.
4. USBASP програматор AVR мікроконтролерів https://arduino.ua/docs/USBASP_Datasheet.pdf (дата звернення 05.11.2023)
5. Проектування мікроконтролерних пристроїв в радіотехнічних комп'ютеризованих системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О.Ю. Мирончук, О.О. Шпилька; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 53 с.
6. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. 324 с.
7. Програматор <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80> (дата звернення 05.11.2023)

ГЕНЕРАТОР ТАКОВОЇ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

В даній роботі зроблений огляд різновидів генераторів тактової частоти, які використовуються в електронних пристроях та системах. Проведений аналіз будови та функціонування генератора тактової частоти на основі мікросхеми SI5351. Розглянута функціональна блок-схема мікросхеми Si5351 різних версій та етапи синтезу частоти даної мікросхеми. Наведені функціональні можливості генератора сигналів на основі мікросхеми Si5351.

Ключові слова: генератор тактової частоти, мікросхема, тактування, блок-схема, синтез частоти.

S. Moroz, V. Shevchyk, E. Tsurkov, L. Dobrovolskyi. Clock generator for electronic devices and systems. This paper provides an overview of the types of clock frequency generators used in electronic devices and systems. An analysis of the structure and functioning of the clock frequency generator based on the SI5351 microcircuit was carried out. The functional block diagram of the Si5351 microcircuit of different versions and the stages of frequency synthesis of this microcircuit are considered. The functionality of the signal generator based on the Si5351 chip is given.

Keywords: clock frequency generator, microcircuit, timing, block diagram, frequency synthesis.

Постановка проблеми.

Для ефективного функціонування, налагодження, дослідження електронних приладів, пристроїв і систем завжди необхідні генератори сигналів. Генератори сигналів являються електронними пристроями або приладами, які генерують різні електронні сигнали. Ці електронні сигнали мають різну форму та параметри відповідно до вимог і області застосування. На даний час існують різні типи генераторів сигналів, які мають різні конструкції, можливості і особливості функціональності [1-3]. Генератори, що видають сигнали спеціальної та довільної форми дуже широко використовуються в лабораторіях КВПіА, на виробництві, в галузях електроніки та телекомунікацій тощо. На сьогодні існують різні моделі генераторів, зокрема: функціональні генератори, генератори спеціальної форми, генератори імпульсів, генератори шуму, генератори синусоїдальних сигналів, генератори кодових послідовностей, вимірювальні генератори та інші [2-4].

Огляд актуальних досліджень з проблеми.

В даній роботі ми розглянемо один з різновидів генератора тактової частоти (генератор тактових імпульсів). Такий генератор формує електричні імпульси заданої частоти (зазвичай прямокутної форми) для синхронізації різних процесів у цифрових пристроях (електронних годинниках, мікропроцесорній та іншій цифровій техніці тощо). Тактові імпульси зазвичай використовуються як еталонна частота. Зокрема якщо рахувати їх кількість можна виміряти часові інтервали. У функціонуванні мікропроцесорної техніки один тактовий імпульс, зазвичай, відповідає одній атомарній операції. Обробка однієї робочої операції може проводитись за один або кілька тактів роботи мікропроцесора, залежно від архітектури та типу робочої операції. Частота тактових імпульсів визначає швидкість обчислень у мікропроцесорі.

Залежно від складності та призначення електронних пристроїв використовують різні типи генераторів для формування тактових імпульсів: класичний, кварцовий генератор Пірса, мікросхема генерації з кварцевим резонатором, програмована мікросхема генерації, тактовий генератор [3-5].

У нескладних конструкціях, для яких не критична стабільність тактового генератора, часто використовується послідовне включення декількох інверторів через RC-коло (класичний генератор). Частота коливань залежить від номінальних параметрів резистора та конденсатора. Основний недолік даної конструкції – низька стабільність. Перевага – гранична простота.

Генератор Пірса один з найпростіших генераторів з кварцовим резонатором. У цій схемі резонатор збуджується на частоті паралельного резонансу. Такий генератор має дуже хорошу стабільність частоти, яка мало залежить від напруги живлення та температури навколишнього середовища. Схему можна використовувати як задавальний генератор в багатьох радіоаматорських конструкціях, а також як пристрій для перевірки працездатності кварцових резонаторів.

Мікросхема генерації являє собою спеціальну мікросхему, яка при подачі на її вхідний контакт сигналу з кварцового резонатора видаватиме на інших вивідних контактах частоту, яка поділена або помножена на вихідну. Дана конструкція використовується в годинниках, а також на деяких материнських платах (де частоти магістральних шин були заздалегідь відомі, при цьому внутрішня частота центрального процесора множилася коефіцієнтом множення).

У сучасних материнських платах потрібна велика кількість різних частот, крім опорної частоти системної шини, які, по можливості, не повинні бути залежними один від одного. Хоча базова частота все ж таки формується кварцовим резонатором (частота - 14,3 МГц), вона необхідна лише для роботи самої мікросхеми. Вихідні частоти коригуються самої мікросхемою. Наприклад, частота системної шини може завжди дорівнює стандартним 33 МГц, AGP - 66 МГц і не залежати від частоти FSB-процесора. Якщо в електронній схемі необхідно розділити частоту на 2 використовують Т-тригер режими лічильника імпульсів. Відповідно, збільшення дільника збільшують кількість лічильників (тригерів).

Тактовий генератор - автогенератор, що формує робочі такти процесора («частоту»), однак у деяких процесорах дана процедура виконується вбудованим тактовим генератором. Крім тактування процесора в обов'язки тактового генератора входить організація циклів системної шини. Тому його робота часто тісно пов'язана з циклами оновлення пам'яті, контролером ПДП і дешифратором сигналів стану процесора.

Формулювання цілей статті.

Для джерела системних тактових імпульсів необхідне надійне прецизійне опорне джерело імпульсів, зазвичай для цього використовується кварцовий генератор. Однак перспективним є застосування в якості джерела тактування електронного модуля на базі інтегральної схеми SI5351. Для розуміння можливості застосування генератора на основі мікросхеми SI5351 потрібно знати характеристики та особливості функціонування даної мікросхеми.

Основна частина.

Мікросхема Si5351 це конфігурований через I2C генератор тактових частот, який раціонально використовувати для заміни кварців, кварцових генераторів, генераторів VCXO, синтезаторів з ФАПЧ (PLL), буферів розв'язки в пристроях, які критичні до загальної вартості. Базуючись на архітектурі PLL/VCXO + High Resolution MultiSynth fractional divider, Si5351 може генерувати будь-яку частоту до 200 МГц на кожному з виходів з нульовим відхиленням від заданого значення (0 ppm error). Для задоволення різних вимог пристроїв мікросхема Si5351 випускається у трьох версіях. Si5351A генерує до 8 тактових сигналів, що не залежать один від одного, використовуючи внутрішній генератор, що дозволяє замінити кілька кварців або кварцових генераторів. У мікросхемі Si5351B доданий внутрішній VCXO, що дає можливість замінити тактові частоти, які генеруються як вільно (незалежно один від одного), так і синхронно. Це усуває необхідність застосування дорогих спеціальних кварців, надаючи при цьому високу надійність роботи в широкому діапазоні частот, що настроюються. Мікросхема Si5351C надає таку ж гнучкість, але при цьому синхронізується із зовнішнім опорним генератором (CLKIN).

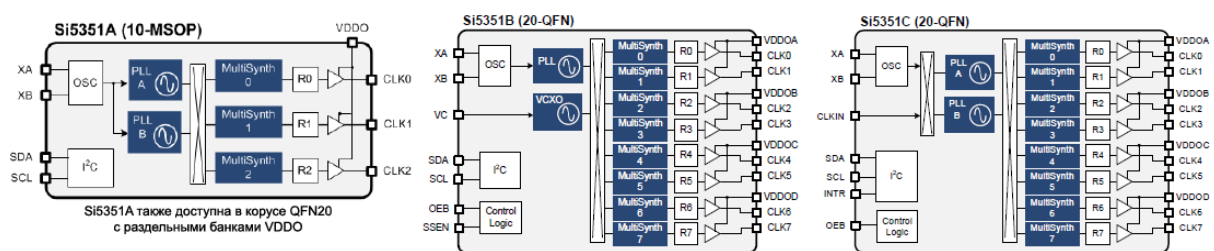


Рис.1. – Функціональна блок-схема мікросхеми Si5351 різних версій

Цей пристрій складається з чотирьох основних включених один за одним каскадів: вхідного блоку, двох блоків синтезу сигналу та вихідного блоку. В якості тактів блок входів приймає підключення зовнішнього кварцу (XTAL) або тактового зовнішнього сигналу, який поданеться на вхід (CLKIN). Також може бути подано на його вхід зовнішня напруга, яка керується частотою (VC) залежно від версії пристрою (Si5351A, Si5351B або Si5351C). Перший каскад блоку синтезу множить вхідні частоти для отримання високої проміжної частоти, а другий каскад синтезу використовує дробові дільники з високою роздільною здатністю (high resolution MultiSynth fractional dividers) для генерації необхідних вихідних частот. Додатковий цілочисельне ділення здійснюється

в блоці виходу для отримання низьких вихідних частот до 8 кГц. Матричні комутатори кожному каскаді синтезу дають значну гнучкість під час маршрутизації будь-яких входів будь-які виходи.

Загалом мікросхема Si5351A синтезує частоти на виходах у три етапи. Спочатку частота кварцового опорного генератора збільшується до внутрішньої частоти в діапазоні 600-900 МГц. У кожному чіпі є два модулі ФАПЧ, кожен з яких може використовуватись для вибору іншої внутрішньої частоти. На наступному етапі одна із частот модулів ФАПЧ ділиться щоб одержати три необхідні частоти на виході. Як для множення до внутрішньої частоти, так і ділення до частот на виході, використовують дробові коефіцієнти - ціла і дробова частини складаються з 20-бітного чисельника і знаменника. Як варіант, третя ступінь ділення може бути налаштована для ділення на 2 в степені n , з максимальним коефіцієнтом ділення 128. Це використовується для отримання низькочастотних сигналів між 8 кГц і 500 кГц.

Завдяки гнучкій архітектурі з високою роздільною здатністю, мікросхема Si5351 може генерувати або синхронні, або частоти тактів, які формуються незалежно один від одного (не пов'язані один з одним цілими коефіцієнтами) на кожному виході. Тому одна мікросхема Si5351 дозволяє генерувати частоти для кількох тактових доменів пристрою.

Висновки.

Генератор сигналів на основі мікросхеми Si5351 має досить широкі функціональні можливості, зокрема: генерує до 3 (або до 8, залежно від типу корпусу) не пов'язаних з лінійною залежністю частот від 2.5 кГц до 200 МГц.; конфігурація визначається користувачем через інтерфейс I2C; абсолютно точний синтез частоти кожного виходу (помилка 0 ppm); VCXO із високою лінійністю; опціональний сигнал тактування можна подати на CLKIN (для Si5351C); малий джиттер періоду вихідного сигналу: типове значення <70 ps pp; конфігурований спектр перешкод, що розширюється, на кожному виході; працює від дешевого кварцу із фіксованою частотою: 25 або 27 МГц.; підтримує статичне усунення фази; програмований час наростання/спаду рівня; зміна частоти без зайвих викидів на виході; якісний PSRR, який усуває необхідність фільтрації зовнішнього джерела живлення; мале споживання енергії; затримка між виходами, що настроюється; забезпечує сумісність із PCIe Gen 1; підтримує сумісність із рівнями HCSL. Використання такого генератора в електронних пристроях та системах дасть можливість покращити компонування, збільшити кількість необхідних тактових сигналів, зменшити вплив електромагнітних перешкод.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ваврук, Євгеній Ярославович Алгоритми та засоби обробки сигналів : навч. посібн. / Ваврук Є., Лашко О., Попович Р. Львів: СПОЛОМ, 2021. 240 с.
2. Андреев О.В. Пристрої генерування та формування радіосигналів: навч. посібник [електронне видання] / О.В. Андреев, В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко, І.І. Полещук Житомир: ЖДТУ, 2018. 138 с.
3. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз. Електронний навчальний посібник / В.В. Макаренко, В.М. Співак, – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – 314 с.
4. Лишук В., Мороз С., Селепина Й., Євсюк М., Діак Р. Проектування генератора сигналів на основі мікросхеми XR-2206. Технічні вісті. 2020/1(51), 2(52). С.23-27
5. Фесь І.А., Тарарай Д.М. Методи побудови синтезаторів частоти. Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Випуск 45. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2022. С. 73-75.
6. Цирульник С. М. Вознюк В. А. Бузін В. С. Багатофункціональний генератор сигналів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2014, С. 225-229.
7. Генератори сигналів. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://riverglennapts.com/uk/oscillator/639-signal-generator.html> (дата звернення 05.11.2023)
8. SI5351. Datasheet PDF. CLOCK GENERATOR+VCXO. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/datasheet/SI5351.html> (дата звернення 05.11.2023)

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ WiMAX ДЛЯ НАДАННЯ ПОСЛУГ IPTV

В роботі розглянуті існуючі моделі мереж WiMAX та можливості надання послуг IPTV на їх основі. Досліджено ефективність роботи бездротової мультисервісної мережі WiMAX з точки зору обробки та передачі відеоконтенту. Особлива увага приділена питанню впливу на якість обслуговування IPTV втрати пакетів даних, порушення порядку прямування пакетів, дублювання пакетів, помилки через очікування пакетів, спотворення через наведення.

Ключові слова: зв'язок, бездротова мережа, широкосмуговий доступ, WiMAX, IPTV.

The paper examines the existing models of WiMAX networks and the possibilities of providing IPTV services based on them. The effectiveness of WiMAX wireless multi-service network from the point of view of video content processing and transmission has been studied. Special attention is paid to the issue of the impact on the quality of IPTV service of data packet loss, violation of the order of routing of packets, duplication of packets, errors due to packet waiting, distortion due to guidance.

Keywords: communication, wireless network, broadband access, WiMAX, IPTV.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день спостерігається стрімкий розвиток та бурхливе зростання мультимедійних технологій, що в якості транспортних мереж використовують бездротові технології широкосмугового доступу та є альтернативою стільниковим систем зв'язку.

Для передачі різноманітного телевізійного контенту радіолініями зв'язку останнім часом все частіше використовується метод їх передачі із залученням середовища Інтернет, який називається IPTV. Даний метод дозволяє ефективно використовувати широку смугу частот і гнучко керувати телекомунікаційною мережею, завдяки чому він ідеально підходить для вирішення завдань мовлення.

Для організації єдиної широкосмугової бездротової мережі розроблені та запропоновані стандарти IEEE 802.16 та IEEE 802.16m, які називаються WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access та WiMAX-2 – WirelessMAN-Advanced відповідно. WiMAX відноситься до технології Wireless MAN, яка може з'єднуватися з точками доступу стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) та є серйозною альтернативою прокладання кабелю або лінії DSL при організації мережі. Завдяки своїм перевагам (можливість забезпечення широкосмугового зв'язку в умовах відсутності прямої видимості, велика зона покриття, висока якість послуг, простота побудови мережі), а отже меншим витратам, технологія WiMAX вважається досить перспективною. Завдяки використанню схеми модуляції OFDM мережі WiMAX працюють за відсутності прямої видимості між антенами базової станції та абонентського пристрою (по перевідбитих сигналах). Відеопотік передається через мережу від програмного забезпечення, встановленого на сервері до користувача.

Мета роботи. Розглянути існуючі моделі мереж WiMAX та можливості надання послуг IPTV на їх основі. Дослідити ефективність роботи бездротової мультисервісної мережі WiMAX з точки зору обробки відеоконтенту. Оцінити середню пропускну спроможність базової станції та величину втрати даних при використанні різних мережевих протоколів та методів відеокомпресії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технології IPTV є системами доставки трафіку цифрового телебачення споживачам-передплатникам даного сервісу. IPTV спирається на протокол IP та широкосмугові з'єднання за допомогою тієї ж інфраструктури. Часто ця послуга надається паралельно з доступом до Інтернету. Отже, IPTV є системою, яка постачає послуги цифрового телебачення передплатникам через широкосмугове з'єднання на базі IP-протоколу. [1,2]

IPTV – не те саме, що звичайна ширококомовна доставка телевізійних програм через Інтернет, а існує цілком самостійно. IPTV помітно відрізняється від інтернет-відео. Останнє надає сервіс для перегляду відео, наприклад, зображень із Web-камер, кінороликів. Доставку такого контенту проводиться з використанням рівня якості обслуговування, що називається best effort (найкраще з можливого). На противагу цьому IPTV є більш розвинутою технологією, дружньою до користувача та кооперується з технологіями високошвидкісного доступу [3].

IPTV належить до класу закритих приватних систем телевізійного мовлення. Воно подібне до існуючих систем кабельного телебачення і відрізняється від них тим, що телевізійні програми

доставляються абонентам по безпечних IP-каналах. Це дозволяє значно покращити керування доставкою контенту.

Особливістю IPTV є те, що контент поставляється до будинку абонента через частково замкнуту мережеву інфраструктуру, в яку не можна здійснити доступ через мережу Інтернет. Ця інфраструктура знаходиться під керуванням якогось телекомунікаційного оператора або Інтернет-провайдера (ISP).

Гарантована якість обслуговування є однією з найбільших проблем, з якими стикаються постачальники послуг під час передачі IPTV через мережі Інтернет. Затримки, навантаження мережі та пошкодження IP пакетів це – тільки деякі з проблем, які постійно вирішуються провайдерами телевізійних Інтернет-каналів та відеосервісних порталів. Саме тому до інфраструктури мережі IPTV пред'являються дуже жорсткі вимоги, а саме, достатня пропускна здатність мережі, запланований рівень якості, підтримки системи QoS та вбудованої надмірності.

Для надання IPTV-послуги мережа повинна складатися з наступних компонентів: головної станції, телекомунікаційних мереж (опорної або периферійної мережі, мережі доступу, домашньої мережі) та абонентських пристроїв. Це дуже загальний опис, тому що для багатьох підсистем IPTV та різних постачальників послуг, потрібно створювати унікальну, різного ступеня складності архітектуру мережі. На рисунку 1 представлено двонаправлену схему роботи IPTV-мережі, що дає додаткові переваги вже існуючій традиційній моделі доставки телевізійних послуг.

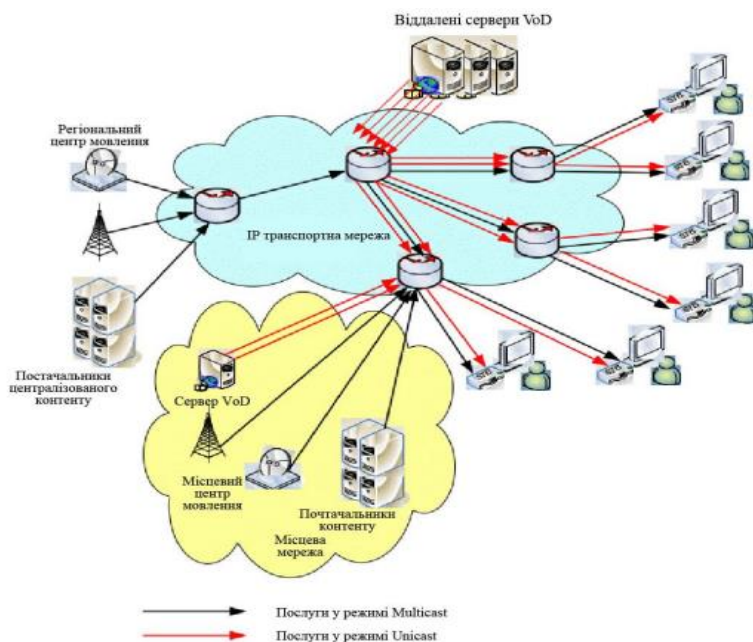


Рисунок 1 – Компоненти IPTV мережі [6]

Якість обслуговування (QoS) є дуже важливою вимогою до онлайн-послуги. Але для IPTV дуже непросто задовольняти ці вимоги. Особливо на якість обслуговування IPTV впливає втрата пакетів даних, порушення порядку прямування пакетів, дублювання пакетів, помилки через очікування пакетів, спотворення через наведення. Невелика затримка пакетів незначно впливає на якість послуг IPTV. Але при затримці понад 1 секунду кінцевий користувач може відчутти погіршення якості обслуговування. Тому, щоб на екрані приймача послуг під час перегляду контенту явно не позначилася затримка передачі пакетів даних, вона має бути досить мала. Існує декілька стандартів (таблиця 1), затверджених ITU-T J.24 та призначених для класифікації IPTV-послуг.

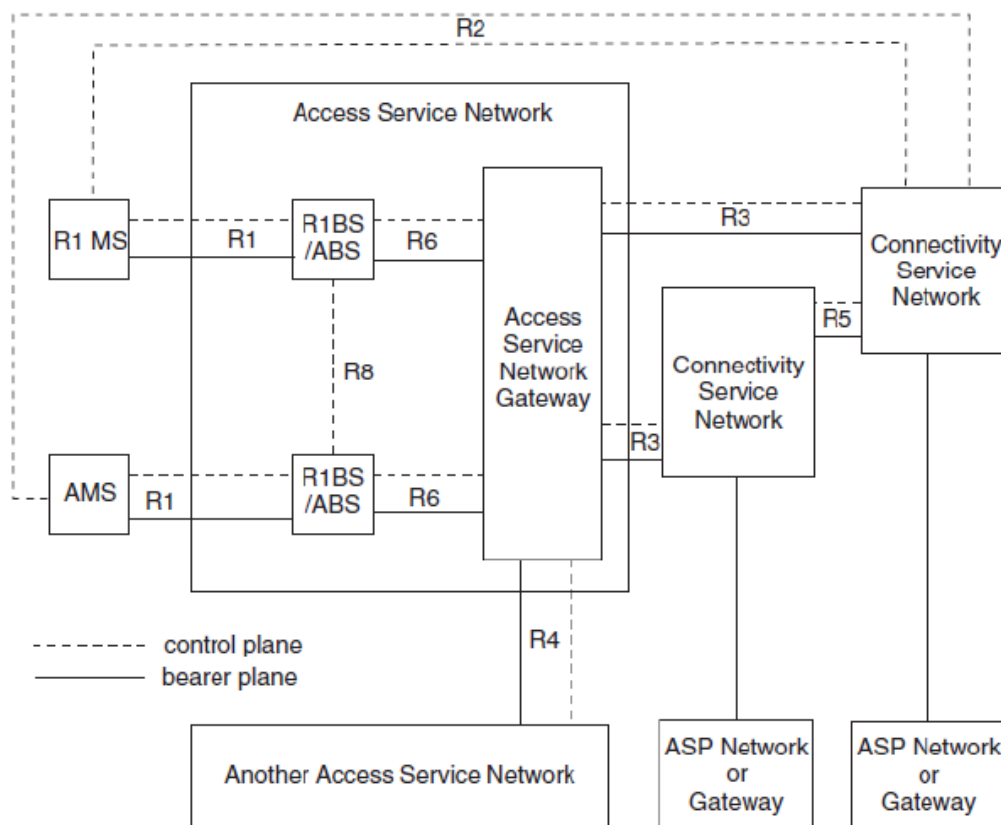
Таблиця 1 – Коефіцієнт втрати пакетів для IPTV послуг

Коефіцієнт втрати пакетів (PLR)	Якість обслуговування (QoS)
$PLR < 10^{-5}$	Відмінна якість обслуговування (ESQ)
$10^{-5} < PLR < 2 \cdot 10^{-4}$	Добра якість обслуговування (ISQ)
$2 \cdot 10^{-4} < PLR < PLR_{out}=0,01$	Задовільна якість обслуговування (PSQ)
$PLR_{out} = 0,01 < PLR$	IPTV послуга недоступна

Викладення основного матеріалу. У жовтні 2010 року інститут інженерів електроніки та електротехніки (IEEE) затвердив стандарт IEEE 802.16m, відомий як WirelessMAN-Advanced або WiMAX-2. Він дозволив підвищити пропускну спроможність бездротових мереж у кілька разів. Так, стаціонарне обладнання у мережах нового покоління може приймати дані на швидкості до 1 Гбіт/с, а мобільні гаджети та портативні комп'ютери – до 100 Мбіт/с. При цьому зберігається зворотна сумісність з наявним обладнанням WiMAX.

Перша публічна демонстрація можливостей WiMAX 2 була здійснено на виставці CEATEC JAPAN 2010 у Tokyo: Samsung Electronics та UQ Communications показали у дії експериментальну систему WiMAX 2 із пропускну здатністю 330 Мб/с. Використовуючи комерційну базову станцію Mobile WiMAX виробництва Samsung партнери здійснили одночасну трансляцію Full-HD 3D-відео та 16 Full-HD-відео на чотири великоформатні (Large Format Display) монітори.

На рисунку 2 представлено еталонну модель мережі IEEE 802.16m.



Access service network – мережа радіодоступу

Another Access service network – інші мережі радіодоступу

Access service network Gateway – ASN шлюз

Advanced Mobile Subscriber (AMS) – мобільні абоненти

Connectivity Service Network (CSN) – служба підключення мережі

Рисунок 2 – Еталонна модель мережі IEEE 802.16m [6]

Канальний рівень моделі WiMAX підтримує пріоритетне надання каналу в реальному часі (rtPS), що забезпечує необхідну смугу пропускання та мінімальні затримки для відеопослуг підтримкою якості обслуговування (QoS).

У WiMAX використовується ортогональний частотний поділ каналів з мультиплексуванням (OFDM) та технологія OFDMA на фізичному рівні, які стійкі до загасань. Технологія OFDMA прийнята найефективніше рішення для стандарту IEEE 802.16a на мережеві засоби бездротового широкосмугового доступу, що дозволяє операторам надавати різноманітні послуги передачі контенту.

Крім того, WiMAX використовує адаптивні схеми модуляції та систему виправлення помилок методом попередження (Forward Error Correction, FEC) підвищення якості сервісу.

Оскільки фізично WiMAX підтримує різні розміри кадрів і смугу пропускання, що масштабується, дана технологія є ідеальним вибором для програм IPTV. На базі WiMAX можуть

бути побудовані мережі доступу, крім того, може бути реалізовано принцип прозорості для опорних мереж. Таким чином, базові станції WiMAX, абонентські та мобільні станції ідеально підходять для доставки IP-послуг (Triple Play): VoIP, IPTV. Це робить технологію WiMAX найкращим вибором у порівнянні зі звичайним кабелем, технологією DSL та супутниковими рішеннями.

Мережі доступу на основі WiMAX дозволяють запропонувати повсюдно доставку контенту, крім того, розгортання мереж WiMAX дозволяє надати повний спектр послуг IPTV з високим ступенем якості відео та аудіо у сільських та важкодоступних для дротових технологій районах.

Функціональна блок-схема організації послуги IPTV проілюстровано на рисунку 3 [5].

Відеосервери зберігають аудіо- та відеоконтент, що складається з закодованих та стислих записаних програм. Відеосервери можуть бути розташовані централізовано або можуть бути розподілені по мережі передачі даних.

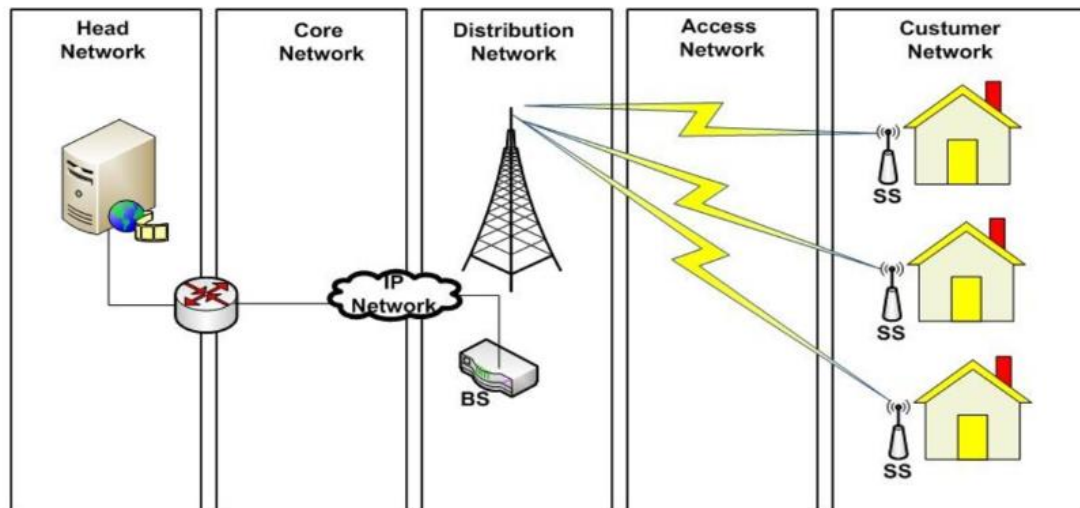


Рисунок 3 – Модель надання послуг IPTV через WIMAX [5]

Базова станція WiMAX, що знаходиться на межі ядра мережі, отримує пакети 802.3m і на канальному рівні декапсулює заголовки Ethernet та інкапсулює IP-дейтаграми в слоти канального рівня протоколу 802.16m, а потім у кадри фізичного рівня. Фізичний рівень готує ці кадри для бездротової передачі, виконуючи модуляцію OFDM. Радіотрансмісивер випромінює ці сигнали за допомогою антени на користувацькі та мобільні станції всередині комірки. Зворотний процес через зазначені рівні доставляє аудіо-та відеоконтент на користувацькі приставки та комп'ютери користувачів послуги.

Ініціювати створення сервісних потоків може як базова станція, так і користувальницька. Компонент керування канального рівня динамічно виконує функції зі створення або зміни транзакції та динамічної зміни параметрів QoS. Успішна транзакція по зміні сервісного потоку змінює параметри QoS сервісного потоку, замінюючи набори дозволених та активних параметрів QoS.

Двофазна модель виконує функції, що включають збереження мережевих ресурсів до повної установки з'єднання, виконує політику перевірки та керування доступом до ресурсів, а також функції по запобіганню несанкціонованого доступу до послуги.

На основі призначених параметрів QoS налаштувань блок планування та черг і генеруючий блок виконують функції резервування ресурсів у тракті даних. Джерело пакетів IPTV грає важливу роль у стратегії QoS додатків IPTV.

Широкомовна трансляція пакетів IPTV найчастіше є безкоштовною послугою, тоді як одноадресні пакети IPTV передаються в рамках платних послуг, тому доставка одноадресних пакетів є більш важливою, ніж доставка широкомовних пакетів, які потребують різних параметрів QoS.

Фізичний рівень має підтримувати модуляції BPSK, QPSK, QAM16 і QAM64 з різними швидкостями кодування, а використання адаптивної модуляції та кодування необхідно, щоб забезпечити висока якість відео. Для кожного типу модуляції потрібна своя оптимальна швидкість кодування, щоб використовувати як можна меншу пропускну здатність, але без шкоди якості.

Застосування канального кодування для відеоконтенту необхідно в цілях захисту відео від канальних помилок і, отже, гарантії надання високоякісних пакетів IPTV. Блок попереджувального

виправлення помилок (FEC) повинен складатися з взаємопов'язаних між собою кодувань з використанням зовнішнього коду Ріда – Соломона та внутрішнього кодування.

Основне завдання радіоінтерфейсу фізичного рівня – це керування передачею даних між параметрами каналного рівня та середовищем передачі.

Висновки. Таким чином, за рахунок оптимального використання бездротових технологій можна збільшити ефективність надання послуг IPTV операторами зв'язку, що дозволить досягти підвищення конкурентоспроможності шляхом надання послуги не тільки у фіксованій точці, а й у будь-якому місці, що знаходиться в зоні охоплення оператора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Голь В. Д., Ірха М. С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навчальний посібник: Київ ІСЗІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250с.
2. Телекомунікаційні системи передавання інформації: навч. посіб. / М. М. Климаш, Р. С. Колодій. Львів: Львівська політехніка, 2018. 632 с.
3. Мороз С. А., Гузюк Г. О. Аналіз протоколів передачі інформації для технології дистанційного управління засобами мережі Інтернет. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*. Луцьк, 2021. Випуск № 42. С.185–190. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-27>
4. Мороз С. А., Селепина Й. Р., Приступа С. О., Король О. О. Особливості забезпечення безпеки даних в GSM каналі мобільного зв'язку. *Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»*. № 17, Луцьк. 2020. С. 93–98.
5. Evaluating the Performance of IPTV over Fixed WiMAX URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluating-the-Performance-of-IPTV-over-Fixed-WiMAX-Hamodi-Salah/f84028466f46dcb8a5c9c1b2b64b9c8fb9f1b888> (Дата звернення 07.10.2023р.)
6. Yarali Abdulrahman. Wireless Sensor Networks (WSN): Technology and Applications. Nova Science Pub Inc, 2021. 390 p. ISBN 9781536187267.
7. Zielinski T. Starting Digital Signal Processing in Telecommunication Engineering: A Laboratory-based Course. New York: Springer, 2021. 873 p.

УДК 654.1

Й. Р. Селепина, Ю. В. Губій

Луцький національний технічний університет

E-mail: y.selepyna@lntu.edu.ua

МІКРОБАЗОВІ СТАНЦІЇ В СТІЛЬНИКОВИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ З ОБМЕЖЕНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

В статті розглядається проблема збільшення споживання енергії в стільникових мобільних мережах, що суперечить поточній світовій концепції енергозбереження та скорочення викидів. Наслідком швидкого вдосконалення інформаційно-комунікаційних технологій є використання радіоресурсу на більш високих частотах, що веде до помітного збільшення щільності базових станцій сучасних гетерогенних мереж. Запропонована стратегія розгортання мікробазових станцій для досягнення високої енергоефективності. Стратегія заснована на оптимізації цільових значень капітальних та енергетичних затрат на розміщення мікробазових станцій та досягнення компромісу для різних ймовірностей розподілу користувачів мережі. Запропонована стратегія комбінаторної оптимізації покращує енергоефективність системи порівняно з методами розгортання, які є незалежними від коефіцієнта потужності.

Ключові слова: мережі безпроводового зв'язку; мікробазова станція; енергоефективність.

The article examines the problem of increasing energy consumption in cellular mobile networks, which contradicts the current global concept of energy conservation and emission reduction. The consequence of the rapid improvement of information and communication technologies is the use of radio resources at higher frequencies, which leads to a noticeable increase in the density of base stations of modern heterogeneous networks. A strategy for deploying microbase stations to achieve high energy efficiency is proposed. The strategy is based on the optimization of the target values of capital and energy

costs for the placement of microbase stations and reaching a compromise for different distribution probabilities of network users. The proposed combinatorial optimization strategy improves the energy efficiency of the system compared to deployment methods that are independent of the power factor.

Keywords: wireless communication networks; micro base station; energy efficiency.

Постановка проблеми. З розвитком технологій мобільного безпроводового зв'язку, висуваються все більші вимоги до швидкості, якості передачі та кількості підключених абонентів. Попри існуючі відмінності, усі передові технології є спільним географічно розподіленим набором вузлів, що виконують функції збереження та передачі обчислювальних та мережевих ресурсів. Однак використання технологій 2-го або 3-го покоління досі знаходить своє місце в розгортанні мережі базових станцій, огляду на критерії енергоефективності та площі покриття. Майбутні стільникові мобільні радіомережі 4G, 5G для забезпечення стандартів наднизької затримки та високої надійності вимагають набагато щільнішого розгортання базових станцій, ніж системи зв'язку попередніх поколінь, оскільки збільшення частоти несучих сигналів значно збільшує згасання сигналу, зменшує перешкодозахищеність і відповідно допустимий радіус соти. При цьому, відповідно, очікується значне збільшення капітальних і операційних витрат, зокрема енергоспоживання стільникових мереж. Щоб протистояти цій тенденції, необхідно оцінювати доцільність застосування обладнання мереж нових поколінь, особливо у віддалених і малозаселених регіонах з точки зору енергоефективності. Враховуючи даний фактор, перспективним є використання мікробазових станцій із меншим енергоспоживанням. У цій статті ми вивчаємо гетерогенні стратегії розгортання, що включають мікробазові станції з акцентом на енергоефективність, представлену споживанням енергії та пропускну здатністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення енергоспоживання систем мобільного радіо часто привертає увагу мережевих операторів, оскільки витрати на електроенергію складають значну частину сучасних операційних витрат. У зв'язку з цим часто говорять про розгортання невеликих базових станцій малої потужності для значного підвищення енергоефективності стільникових радіомереж. Одним з практично раціональних і ефективних рішень є використання Мікробазових станцій від Siemens Communications, що дозволяють забезпечити повне бездротове радіопокриття з використанням EDGE навіть у радіозатенених місцях всередині будівель, наприклад у підвалах або підземних стоянках [1]. Мікросота – це наближений варіант реалізації базової станції у компактному вигляді, з підтримкою меншої кількості абонентів і меншою випромінюючою потужністю. Маса зазвичай до 50 кг і радіус радіопокриття - до 5 км. Таке рішення використовується там, де не потрібні високі ємності та потужності мережі, чи немає можливості встановити велику станцію. Незаперечною перевагою таких «карликових» базових станцій є легка інсталяція. При цьому станція володіє всіма стандартними можливостями і функціоналом, може налаштовуватися, управлятися, обслуговуватися та через IP-сет. Мікробазова станція має характеристики невеликого розміру та простого компонування, яку можна об'єднати з макробазовою станцією для досягнення щільного покриття мережі та ефективного усунення сліпих зон і слабких місць сигналів мережі. У щільних мережах потужність передачі мікробазової станції набагато нижча, ніж потужність макробази через коротку відстань передачі. Тим часом, перешкоди від інших мікробазових станцій також нижчі, ніж передача макростанцій, а швидкість зв'язку також відносно висока [2]. Таким чином, мікробазові станції накладаються в межах покриття макробазових станцій, щоб задовольнити потреби користувачів і максимізувати енергоефективність мережі.

Постановка завдання. Дослідити можливості і умови організації автономних мереж радіозв'язку з використанням мікробазових станцій на основі критерію енергоефективності.

Виклад основного матеріалу. Задача дослідження ефективності схем розгортання різних типів базових станцій є нетривіальною і повинна враховувати багато факторів, куди входять і план місцевості та кількість абонентів. Очевидно, що схеми, які включають мікробазові станції, у порівнянні зі звичайними чистими макросистемами відкривають ширші можливості для економії споживання електроенергії зоною із забезпеченням сталої пропускну здатності системи.

При розміщенні кінцевих вузлів, вибір місцезнаходження залежить від витрат, куди входять ціни на енергоносії та використання землі, аж до витрат на облаштування. Основні категорії капітальних витрат наведені в табл.1.

Параметри, що залежать від вибору місця розміщення

Параметр	Опис
Розташування лінії електропередач	Вартість підведення енергії до місця розташування базової станції
Розведення лінії мережі	Вартість підведення мережі до місця розташування
Джерело енергії	Ціна енергії відповідно до наявної потужності джерела
Придбання землі	Вартість оренди/купівлі необхідної площі
Можливості сайту	Умови сайту для розміщення EN з точки зору обчислювальні, сховища та мережеві потужності
Витрати на будівництво	Вартість розгортання необхідної інфраструктури
Можливості взаємозв'язку	Витрати на з'єднання EN-TG та EN-EN

Будь-який метод вибору розміщення повинен включати ранжування всіх потенційних місць відповідно до вже наявної комунікаційної інфраструктури, IP-сумісного обладнання, можливості радіозв'язку та споживання енергії між з'єднаннями. З точки зору використання енергії, кращим є самостійне розташування БС або вибір місць з використанням екологічної енергії (використання екологічних джерел енергії).

Вимірювання енергоефективності можна здійснити шляхом оцінки відношення досяжної пропускної здатності системи до потужності, витраченої в мережі. Таким чином модель енергоспоживання та енергоефективності мережі матиме вигляд:

Енергоспоживання базової станції [3]:

$$P = \beta P_t + P_c \quad (1)$$

де P - споживання електроенергії базовою станцією;

P_t, P_c - потужність передачі та статичне споживання електроенергії базовою станцією;

β - зважений коефіцієнт для потужності передачі на основі навантаження.

Припустимо, що користувач завжди здійснює передачу даних. Крім того, базова станція не використовує алгоритм керування потужністю, а тому значення P_t постійне, тоді енергоефективність системи буде виражена як:

$$\eta_{EE(B)} = \frac{\sum_{k \in K} C(k, B)}{N_b P_m + N_b P_m} \quad (2)$$

N_b, N_B - кількість мікробазових та макробазових станцій відповідно;

P_m, P_M - енергоспоживання мікро та макробазових станцій у мережах;

$C(k, B)$ - пропускна здатність користувача;

K - сукупність користувачів.

Енергоефективність системи можна підвищити шляхом збільшення пропускної здатності мережі за тієї самої потужності або зменшення споживання електроенергії, зберігаючи постійну пропускну здатність. Щоб отримати максимальну віддачу від енергоефективності системи та зменшити витрати, мережеві оператори повинні вибрати оптимальне місце для розгортання мікробазових станцій, щоб задовольнити QoS (якість обслуговування) користувачів. Важливим індикатором QoS, є швидкість передачі даних користувача, де швидкість передачі є більшою за порогове значення. У реальних сценаріях користувачі постійно переміщуються, різні розподіли користувачів з'являються з різною ймовірністю, а розгорнуті мікробазові станції повинні задовольняти швидкість покриття користувача в різних станах розподілу.

Припустимо, що R це набір станів користувача, $r \in R$ відноситься до деякого розподілу стану користувача, π_r - являє собою ймовірність появи розподіленого сценарію r . Набори користувачів у сценарії розподілу r позначимо K_r ; $C_r(k, B)$ представляє собою пропускну здатність користувача k в наборі K_r ; C - поріг кількості користувачів. Таким чином, енергоефективність мережі в сценарії розподілу r може бути виражена як:

$$\eta_{EE_r(B)} = \frac{\sum_{k \in K_r} C_r(k, B)}{N_B P_M + N_b P_m}. \quad (3)$$

Тому задачу оптимізації можна розрахувати так:

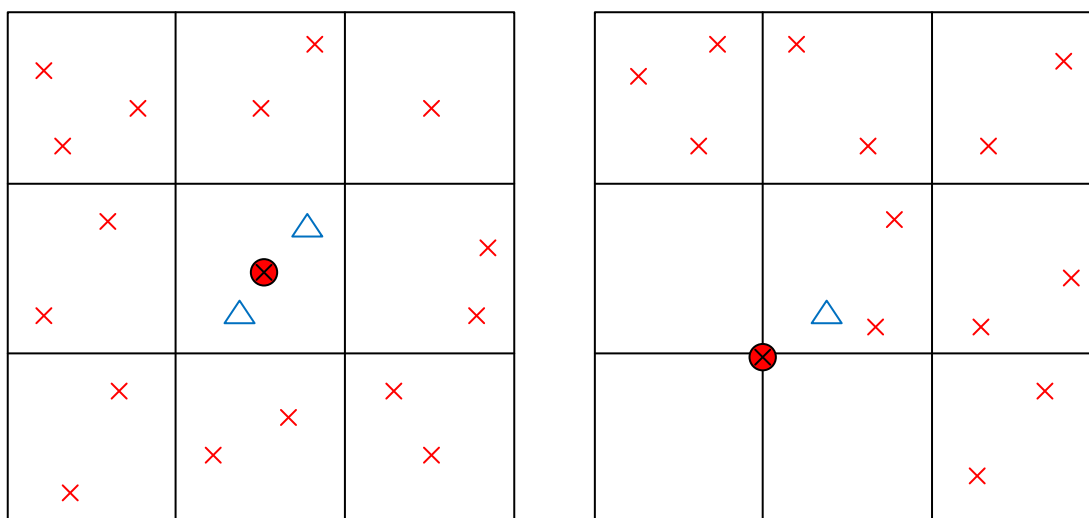
$$\max_{P_m, B} \sum_{r \in R} \pi_r \eta_{EE_r}(B). \quad (4)$$

Кінцеві значення $\eta(P_m, B_m)$ служать оптимізованими рішеннями для розгорнутого набору розташування мікробазової станції та відповідних оптимізованих цільових значень. В алгоритмі енергоефективність і пропускна здатність користувача відповідають усім наборам розгорнутих базових станцій, оскільки макростанції залишаються незмінними.

Алгоритм розгортання мікробазових станцій можна віднести до алгоритмів стохастичного пошуку [4]. Процес виглядає наступним чином:

- Спочатку ми розділяємо сітку в заданій зоні спостереження, створюємо набір місць-кандидатів.
- Потім використовується один з алгоритмів пошуку [5] для вибору кандидатських місць, з максимізацією енергоефективності мережі.
- На наступному кроці пошук починається з попередньо вибраної позиції, тому кількість мікробазових станцій збільшуватиметься покроково, доки збільшення пропускної здатності мережі не досягне порогових вимог.

Таким чином, ми ділимо мережеву область у вигляді сітки з комітками однакового розміру та вибираємо місце-кандидат у кожній комірці. Звичайно, немає гарантії, що можливе розташування існує в кожній комірці, зважаючи на можливі складності рельєфу. Крім того, якщо в комірці сітки існує більш ніж одне можливе розташування, необхідне порівняння місць-кандидатів. Якщо ми вважаємо, що всі сусідні комірки центральної сітки мають принаймні одне можливе розташування, тоді, як результат, вибирається місце-кандидат, найближче до центру сітки. У випадках, коли деякі з сусідніх комірок не мають жодного можливого розташування, як кандидат вибирається найближче можливе розташування до центроїда центральної комірки та сусідніх комірок без можливості розташування. Як показано на рис. 1., в одному випадку всі сусідні комірки мають принаймні одну доступну локацію-кандидата, і тому вибирається можливе розташування, яке знаходиться найближче до центру сітки. У другому випадку три сусідні комірки не мають жодного можливого розташування. Тоді як місце-кандидат вибирається розташування, найближче до центроїда цих чотирьох комірок. Цей підхід обмежує негативний вплив розподілу користувачів на продуктивність запропонованого методу.



× - можливі локації; △ - локації-кандидати; ⊗ - центр мас сітки;

Рис.1. Метод пошуку локацій розгортання мікробазових станцій

Такий метод розгортання дозволяє уникнути проблеми надмірного розташування та надмірних обчислень, викликаних обходом усіх можливих схем; оскільки загальне збільшення пропускної здатності мережі не гарантує збільшення якості обслуговування окремого користувача. Таким чином надлишкові мікробазові станції видаляються під час розгортання кожної мікробазової станції. При цьому алгоритм не враховує резервування розгорнутих базових станцій при збільшенні масштабу розгортань.

Додаткова привабливість цієї стратегії розгортання полягає в тому, що окремі приватні особи чи організації мають можливість встановити базову станцію на своє існуюче широкосмугове підключення та ділитися надлишковою пропускною спроможністю з іншими клієнтами. Оператор мережі наглядає за роботою мережі, забезпечуючи дотримання нормативних і правових вимог. Клієнтська база таких мереж може бути регіональною, національною або навіть міжнародною. Перевагою є охоплення критичних житлових районів, до яких було складно дістатися за допомогою традиційних розгортань макросот. Хоча такий варіант значно знижує вартість мережі, він також кидає виклик поточній домінуючій практиці управління, за якої контроль і трафік даних пересилаються через Інтернет до базової мережі.

Цей підхід передбачає розміщення мережевих служб на границях мережі, на самих базових станціях і безпроводових клієнтах, з мінімальною централізованою підтримкою [6]. В такому випадку базові станції працюють більш автономно, а в поєднанні з незапланованим розгортанням на основі підписок клієнтів мережі стають самодостатніми, або «органічними».

Відкриваються можливості створення енергетично ефективної та дешевої мережі, що надає послуги, які користувачі очікують від мереж 3G/4G, і розвивається автономно без будь-якої централізованої інфраструктури чи планування, але забезпечує достатній контроль і управління, щоб задовольнити операційні, юридичні та нормативні вимоги середовища розгортання. Швидке розширення, непередбачувані моделі зростання та підключення третіх сторін через Інтернет роблять централізовані служби та керування вразливими до масштабованості, надійності, якості обслуговування та загроз безпеки. Особливо важливим це є для виникнення мікрооператорів, які керують кількома базовими станціями з обмеженою зоною покриття.

Для цього необхідно організувати підсистеми мережі таким чином, що кожна органічна базова станція також виконувала функції контролера базової станції та центру комутації мобільного зв'язку, децентралізуючи базову мережу. Усі мережеві послуги поширюються через Інтернет на всі базові станції в адміністративному домені оператора. Необхідно приділити увагу забезпеченню доступності, безпеки та низького рівня затримки, що й для централізованої версії, з одночасним використанням притаманної масштабованості та надійності підходів р2р (точка-точка).

Для забезпечення функції самостійності необхідно вирішити проблему глобальної аутентифікації, яка є необхідною для роботи мережі, щоб забезпечити легку взаємодію між базовими станціями та мобільними телефонами, що належать різним клієнтам. Аутентифікація повинна діяти локально на кожній базовій станції, але в той же час централізовано керуватися оператором мережі. В існуючих мережах 3G/4G аутентифікація базується на SIM-картці, що зберігає закритий ключ користувача та його глобальний унікальний ідентифікатор IMSI. Під час аутентифікації IMSI пересилається на домашній центр комутації мобільного зв'язку. Там зберігається копія закритого ключа користувача, яка використовується разом для розрахунку ключа шифрування сеансу. Одноразовий номер пересилається мобільному клієнту, який також обчислює ключ сеансу. Залежність від централізованої системи аутентифікації для зберігання та обчислення ключів обмежує можливості автономної роботи БС. Пропонується використовувати протокол автентифікації для відкритих мереж Wi-Fi AGE [6], який працює без онлайн-залучення будь-якого центрального сервера. AGE використовує цифрові сертифікати та сегментований список відкликаних сертифікатів, що зберігається локально на кожному пристрої, у поєднанні з накладенням р2р на основі соціальної мережі для підтримки децентралізованої аутентифікації (рис.2.).

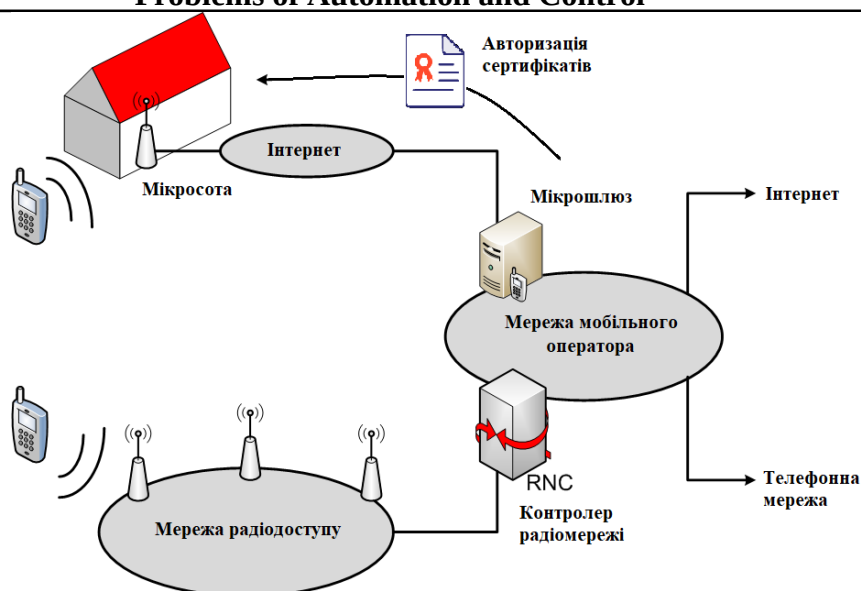


Рис .2. Структура автономної безпроводової мережі з використанням мікробазових станцій

Щоб адаптувати AGE для звичайної стільникової мережі, відкритий ключ і сертифікат, що зв'язує відкритий ключ і IMSI абонента, генеруються разом із закритим ключем SIM-карти. Сертифікат і сегмент CRL зберігаються на SIM-карті мобільного телефону. Базовим станціям також видаються приватні ключі, сертифікати та сегменти CRL, які зберігаються в локальному сховищі. Мобільні телефони аутентифікуються на базових станціях за допомогою AGE. Для звичайних мобільних телефонів у роумінгу телефонний шлюз зберігає копію закритого ключа абонента в базі даних, що дозволяє аутентифікувати SIM-карту в застарілих мережах. І навпаки, звичайні базові станції можуть виявляти застарілі мобільні телефони та виконувати аутентифікацію SIM-карти, підключеної до домашньої мережі цих клієнтів.

Хоча AGE страждає від слабкої обчислювальної потужності базової станції (93% накладних витрат пов'язано з обробкою), вона все одно перевершує централізовану версію. Оскільки аутентифікація AGE не залежить від мережевого зв'язку, затримку можна обмежити та легко покращити зі збільшенням швидкості апаратного забезпечення.

Віддалений моніторинг мікробазових станцій і допоміжного обладнання за допомогою встановлених сенсорних пристроїв, таких як камери, може зменшити витрати та підвищити ефективність щоденної експлуатації та обслуговування базових станцій.

Висновки. В результаті аналізу та оцінки ефективності розгортання безпроводових мереж нових поколінь для різних регіонів, показано перспективи використання мікробазових станцій у віддалених і малозаселених регіонах, враховуючи критерії капітальних затрат та енергоспоживання. Запропонована стратегія розгортання мікробазових станцій для досягнення високої енергоефективності. Критерієм оцінки енергоспоживання та енергоефективності мережі є обрахунок відношення досяжної пропускної здатності системи до потужності, витраченої в мережі. Запропонований метод розгортання дозволяє уникнути проблеми надмірного розташування базових станцій та надмірних обчислень, викликаних обходом усіх можливих схем і має на меті досягнення компромісу розташування для різних типів розподілу користувачів мережі. Запропоноване рішення для систем без центральної аутентифікації клієнта на основі протоколу AGE, що дозволить полегшити створення автономних мобільних мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Базові станції стільникового зв'язку і їх антена частина. Український телекомунікаційний портал. URL: <https://portaltele.com.ua/equipment/c20-equipment/bazovye-stantsii-sotovoj-svyazi-i-ih-antennaya-chast.html> (дата звернення 10.10.2023 р.)
2. W. Guo, J. Koo, I. F. Siddiqui, N. M. Qureshi, D. R. Shin. QoS-Aware Energy-Efficient MicroBase Station Deployment for 5G-Enabled HetNets, Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Volume 34, Issue 10, Part B, 2022, Рю 10487-10495, URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.11.004>.

3. K. C. Chang, K. C. Chu, H. C. Wang, et al. Energy saving technology of 5G base station based on internet of things collaborative control. IEEE Access, 8 (2020), P. 32935-32946. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973648>.

4. H. Y. Hsieh, S. E. Wei, C. P. Chien. Optimizing small cell deployment in arbitrary wireless networks with minimum service rate constraints. IEEE Trans. Mob. Comput., 13 (8), 2013, P. 1801 – 1815. URL: <https://doi.org/10.1109/TMC.2013.135>

5. Coskun, C.C., Ayanoglu, E., A greedy algorithm for energy-efficient base station deployment in heterogeneous networks. 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2015, P. 7–12. URL: <https://doi.org/10.1109/ICC.2015.7248290>.

6. N. Thompson, H. Luo, P. Zerfos, J. Singh, and Z. Yin. Extended abstract: Authentication on the edge - distributed authentication for a global open wi-fi network. In Proc. ACM MobiCom, 2017. URL: <https://doi.org/10.1145/1287853.1287898>.

УДК 621

Шкода С.О.

hhkod@ukr.net

СИСТЕМА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З ГАЛЬВАНІЧНОЮ РОЗВ'ЯЗКОЮ

У статті пропонується система безперебійного живлення споживачів змінним струмом, напругою 220В, частотою 50Гц, синусоїдальною формою струму, та гальванічною розв'язкою від мережі. Об'єктом дослідження є джерело безперебійного живлення, яке працює по принципу подвійного перетворення за допомогою інвертора. Проаналізовано декілька типів існуючих систем, їх недоліки та переваги у порівнянні з системою про яку йдеться у статті. Представлено систему живлення, яка має безперервний принцип дії, не має контактних реле для переключень режиму роботи, забезпечує незалежне заряджання резервної акумуляторної батареї, невимоглива до якості живлення від мережі.

Ключові слова: інвертор, синусоїда, безперебійне живлення, автономність, акумуляторна батарея, блок живлення, детектор, мережа.

S. Shkoda. Uninterruptible power supply system with galvanic isolation. The article proposes an uninterruptible power supply system for consumers with alternating current, voltage 220V, frequency 50Hz, sinusoidal current waveform and galvanic isolation from the network. The object of the study is an uninterruptible power supply operating on the principle of double conversion using an inverter. Several types of existing systems are analyzed, their disadvantages and advantages in comparison with the system discussed in the article. A power system is presented that has a continuous operating principle, does not have contact relays for switching operating modes, provides independent charging of the backup battery, and is undemanding to the quality of power supply from the network.

Key words: inverter, sine wave, uninterruptible power supply, autonomy, battery, power supply, detector, network.

Постановка проблеми. Системи безперебійного живлення мають важливе значення у галузях, де використовується обладнання, для якого короткочасне відключення живлення є неприпустимим, тому що може призвести до втрати результатів попередньо виконаної роботи (робота за персональним комп'ютером), матеріальних втрат у виробництві (станки з ЧПУ, системи опалення та охорони), а також може призвести до небезпечних ситуацій для людини, у медичній справі (під час операції, апарату ШВЛ) [4].

Існують декілька типів систем, які забезпечують споживачі безперервним живленням, як правило вони поділяються на два типи, це системи живлення постійним струмом та змінним струмом. Систему безперебійного живлення постійним струмом, як правило використовують у приладах чи обладнанні, які для живлення потребують постійний струм одного значення напруги. Це можуть бути побутові прилади зв'язку, медичне обладнання, системи сигналізації та відео нагляду, системи комунікацій тощо. Живлення змінним струмом застосовується переважно там, де використовуються електродвигуни, трансформатори, а також переважно вся побутова техніка [3].

Переважаюча більшість споживачів електроенергії потребують змінний струм напругою 220В, частотою 50Гц, та синусоїдальної форми, що й подається від мережі. Тому розглянемо основні принципи роботи систем безперебійного живлення, що виробляються промисловістю та доступні на ринку, їх є три основні типи: резервного типу, лінійно-інтерактивні, подвійного перетворення [5,6].

Резервний тип працює по принципу переключення роботи від батареї лише у момент коли зникла вхідна напруга з мережі. У момент часу коли вхідна напруга з мережі поступає до системи, інверторний перетворювач не задіяний, також не задіяна акумуляторна батарея, споживач живиться напругу від мережі через систему переключення, яка зазвичай виконується за допомогою реле. Як тільки зникає мережа, система швидко запускає інвертор що генерує змінний струм живлячись від АКБ, за допомогою реле споживач переключається на вихід вже інверторного перетворювача. Схематично принцип роботи зображено на рисунку 1.

Даний тип системи має низьку ціну, зазвичай використовується для невеликої потужності, та низьких вимог що до надійності. Електронні споживачі практично не мають захисту від перевищення чи заниження вхідної напруги, також комутація за допомогою реле, не є досить надійним, тому що з часом контакти підгорають та їх опір збільшується, це може призвести до збоїв у роботі обладнання. Перехід на резервне живлення є досить швидким, однак все ж таки має певний час, і деяка техніка може бути досить чутливою до цього. Насамперед це стосується чутливої апаратури, яка дуже вибаглива до перешкод та вад, що виникають при перехідних процесах включень і відключень реле, вимикачів, тощо.

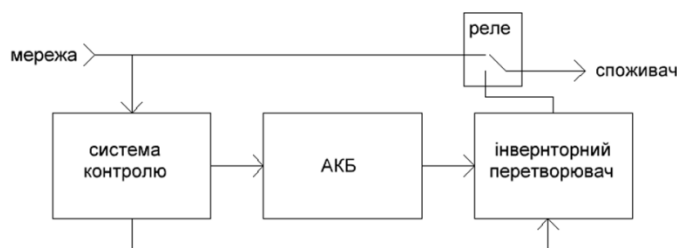


Рис. 1. Функціональна схема джерела безперебійного живлення резервного типу.

Лінійно-інтерактивні системи крім основної функції резервного живлення споживачів, виконують стабілізацію вихідної напруги. Зазвичай такі пристрої мають декілька ступенів пониження чи підвищення вхідної напруги що поступає з мережі. Принцип роботи даного пристрою аналогічний джерелу безперебійного живлення резервного типу, відмінність полягає лише у можливості часткової стабілізації напруги, зазвичай використовується трансформатор який має відводи від первинної обмотки, це дозволяє за допомогою реле підвищувати чи понижувати напругу що приходить з мережі. Функціональна схема джерела лінійно-інтерактивного принципу дії зображено на рисунку 2.

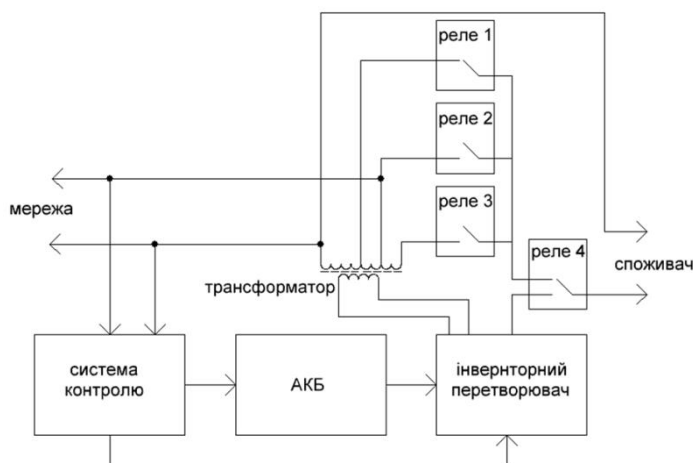


Рис. 2. Функціональна схема джерела безперебійного живлення лінійно-інтерактивного типу.

Основним недоліком вище розглянутих систем є те що, при переході на резервне живлення затрачається час на запуск інвертора та переключення реле [1]. При перехідних процесах через паразитну індуктивність провідників виникають електромагнітні вади, а також зміна форми струму у деяких моделях ДБЖ, тому що інвертор не завжди спроектований генерувати синусоїдальний струм. Графічне зображення осцилограми переходу від мережевого живлення до резервного представлено на рисунку 3.

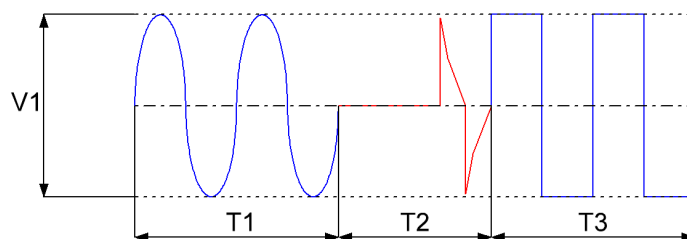


Рис. 3. Перехід до резервного живлення.

Маємо час $T1$, це час нормальної роботи від мережі, $V1$ амплітуда напруги, $T3$ час роботи вже після перехідного процесу, $T2$ період часу у який ще не запустився інвертор і не спрацювало реле, що підключає навантаження (на переключення контактів потрібен певний час), та перехідний процес запуску інвертора, коли напруга ще не в нормі, у цей момент часу живлення переривається, та може призвести до порушень у роботі чутливої техніки.

Подвійне перетворення вхідного струму зустрічається у джерелах безперебійного живлення, які працюють у режимі постійної генерації заданої форми струму та амплітуди, зазвичай такі системи використовують принцип дії який схематично зображений на рисунку 4.

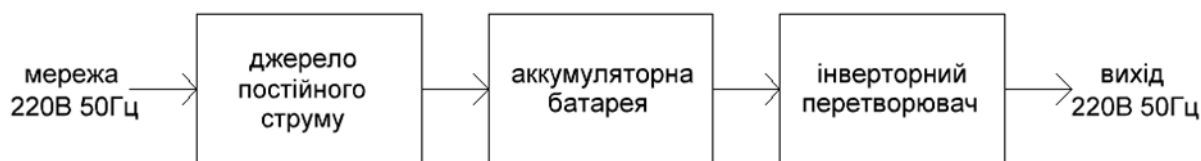


Рис. 4. Функціональна схема системи з подвійним перетворенням.

У представленому типі джерела безперебійного живлення, відбувається перетворення енергії що поступає з мережі у постійний струм, який дорівнює напрузі батареї, далі струм подається на інверторний перетворювач, таким чином така система має повністю безперервний принцип дії, а це виключає вище розглянуті недоліки систем інших типів. Джерело постійного струму проектується таким чином що допускає вхідну напругу у великому діапазоні, при відхиленнях від норми у вищу чи нижчу сторону, завдяки відсутності системи комутації має високу надійність, може використовуватися для побудови надпотужних систем безперебійного живлення.

Враховуючи вище сказане було розроблено систему безперервного живлення, на основі мікроконтролера спеціального призначення EG8010 [7]. У системі використовується інвертор, що побудований на основі модуля EG002, у якому використовується вищезазначений контролер. Функціональна схема представлена на рисунку 5.

Кожен з функціональних блоків є невід'ємною частиною системи, така будова задовольняє основні потреби користувачів, містить індикацію, системи захисту, має високу швидкість спрацювання, та підтримання вихідної напруги з високою точністю, за рахунок використання трансформаторів забезпечується повна гальванічна розв'язка від мережі. Принципову схему представленого джерела безперебійного живлення наведено на рисунку 6.

Пристрій складається з окремих функціональних блоків, які з'єднані між собою, та взаємодіють залежно від режиму роботи, а це може бути робота від мережі чи автономна робота від батареї.

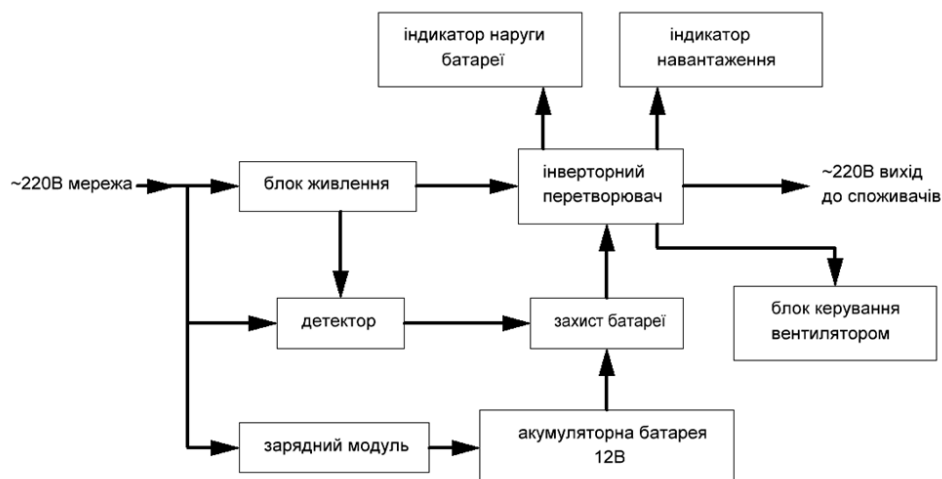


Рис. 5. Функціональна схема джерела безперебійного живлення на основі модуля EG002.

Розглянемо режим роботи ДБЖ коли присутня мережа. При подачі наруги з мережі 220В, вона поступає на блок живлення, детектор та зарядний модуль. Зарядний модуль генерує постійний струм для зарядки батареї, детектор приймає сигнал мережі та сигнал роботи блоку живлення, на виході детектора присутній сигнал що відключає батарею від силової шини одразу коли з'являється +12В, всі інші функціональні блоки не задіяні поки не активована кнопка пуск.

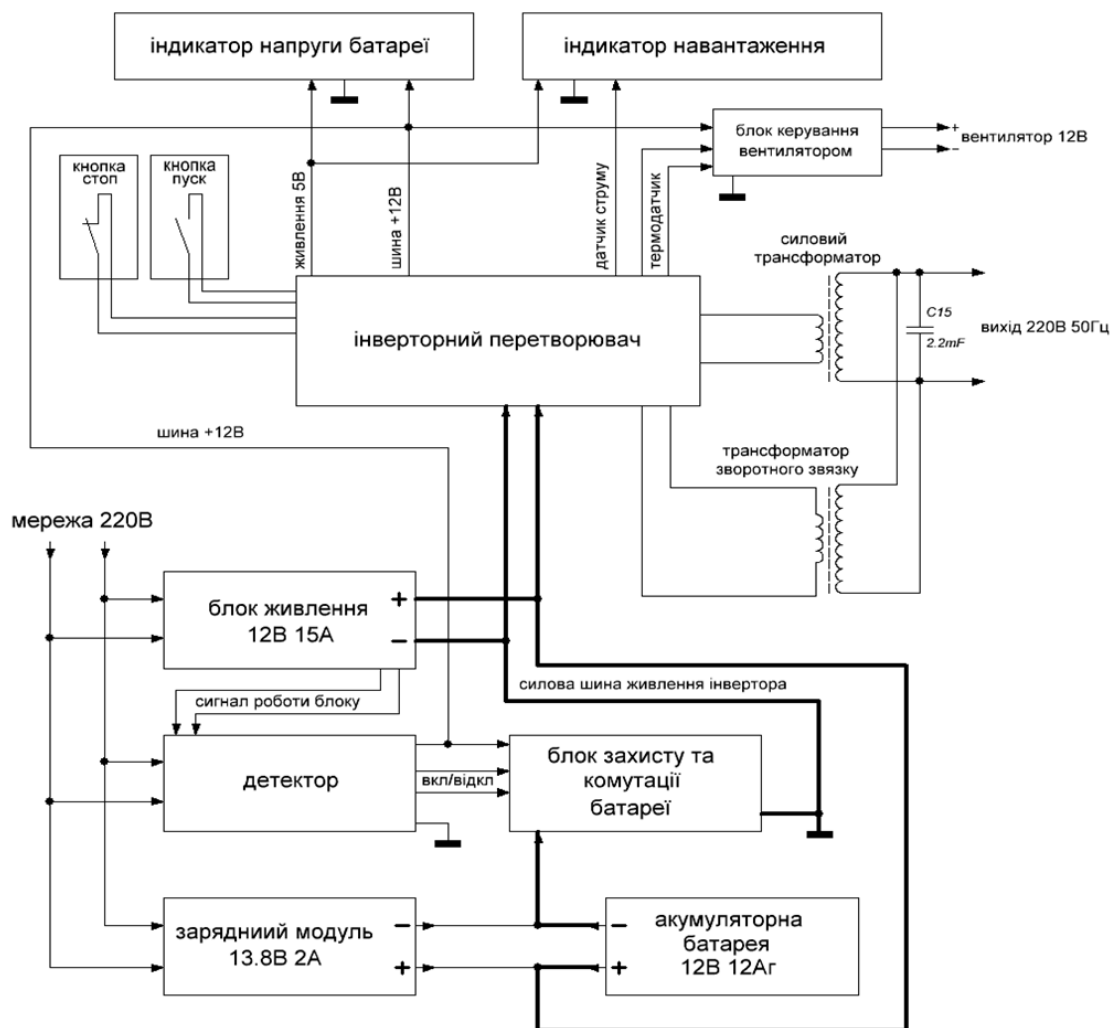


Рис. 6. Принципова схема джерела безперебійного живлення на основі модуля EG002.

Після запуску системи від плати інвертора, подається шина живлення 12В, та живлення 5В, інвертор, індикатори, та блок керування вентилятором працюють в нормальному режимі, на виході пристрою маємо напругу для живлення споживачів. Живлення пристрою у такому режимі відбувається від блока живлення, батарея у цей період відключена і заряджається від зарядного модуля.

У випадку коли зникає мережа, детектор миттєво подає сигнал на підключення батареї до силової шини живлення інвертора, на виході пристрою цей момент переходу практично не відчувається, оскільки детектор відслідковує наявність безпосередньо мережі, й сигнал на підключення батареї приходить раніше ніж силовий блок живлення припинить свою роботу, це відбувається через особливість побудови блока живлення. Блок захисту та комутації батареї не містить контактних реле, а використовуються силові польові транзистори. Зарядний модуль та блок живлення у автономному режимі не працюють, живлення інвертора повністю відбувається за рахунок батареї, в залежності від навантаження та її ємності, час роботи може становити від 20 хвилин до декількох годин. Для зупинки роботи пристрою потрібно натиснути кнопку стоп, при цьому генерація зупиняється, живлення від інвертору +12В, +5В зникає, енергія батареї не споживається, якщо напруга батареї дозволяє, система готова до запуску й процес повториться як описано вище. Заряд батареї відбувається не залежно від режиму роботи пристрою, тобто завжди коли є мережа, заряджається батарея. Індикатор навантаження вимірює актуальний рівень споживання струму інвертором від силової шини живлення.

Висновки. Таким чином пропонується розроблений діючий зразок системи безперебійного живлення, який має гальванічну розв'язку від мережі, принцип дії оснований на подвійному перетворенні, це дозволить використовувати навіть у якості стабілізатора напруги, чи випрямляча, коли маємо не якісне живлення, часто така ситуація виникає при використанні бензинових генераторів.

Представлений зразок є повністю функціональним та готовий до практичного застосування, також має цінність для розробки подібних приладів для інженерів чи студентів, можуть бути використані схематичні рішення окремих вузлів, принципи їх дії та налагодження. Даний зразок джерела безперебійного живлення може цілком служити макетом для виробництва промислових зразків, з урахуванням вимог потужності, конструкторських вимог корпусу дизайну та зовнішнього вигляду.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матвієнко М.П., Основи електроніки. Ліра-К, 2020.- 228 с.
2. Осташевський М.О., Юр'єва О.Ю., Електричні машини і трансформатори. Каравела, 2022. – 452 с.
3. Сегеда М. С., Електричні мережі та системи. Львівська політехніка. 2015. – 540 с.
4. Кориський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М., Електропостачання агропромислового комплексу. Аграрна освіта. 2011. – 448 с.
5. Alexander King., William Knight., Uninterruptible Power Supplies. McGraw Hill; 1st edition. November 13, 2002 - 379 pages.
6. Institution of Electrical Engineers., Uninterruptible Power Supplies. IET, 1992 – 150 pages.
7. https://www.lz2gl.com/data/power-inverter-3kw/eg8010_datasheet_en.pdf

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДІВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАЯЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Стаття присвячується аналізу сучасних методів регулювання температурних характеристик паяльного обладнання. У загальному випадку регулятори мають чотири основні функції: вимірювання, порівняння, обчислення та коригування. Коригувальний сигнал регулятора впливає на регулюючий орган, який змінює значення вхідного сигналу. Вид вихідного коригуючого сигналу регулятора, відхилення регульованої змінної і якість регулювання залежить від функціональних можливостей регулятора, а саме вибору закону регулювання. Регулятор потужності можна зібрати за різними схемами. В основному вони відрізняються між собою за напівпровідниковими деталями приладу, який буде регулювати подачу струму. Це може бути тиристор або симістор. Для більш точного керування роботою тиристора або симістора в схему можна додати мікроконтролер.

Ключові слова: паяльна станція, регулятор, термостатування, тиристор, симістор, мікроконтролер.

The article is devoted to the analysis of modern methods of regulating the temperature characteristics of soldering equipment. In general, regulators have four main functions: measurement, comparison, calculation and adjustment. The corrective signal of the regulator affects the regulating body, which changes the value of the input signal. The type of output corrective signal of the regulator, the deviation of the regulated variable and the quality of regulation depends on the functionality of the regulator, namely the choice of the regulation law. The power regulator can be assembled according to various schemes. Basically, they differ among themselves in the semiconductor parts of the device that will regulate the current supply. It can be a thyristor or a triac. For more accurate control of thyristor or triac, a microcontroller can be added to the circuit.

Keywords: soldering, regulator, thermostat, thyristor, triac, microcontroller.

Постановка проблеми. На сучасному етапі науково-технічного прогресу величезну роль відіграє розвиток електроніки. Електронна промисловість визначає науково-технічний та економічний потенціал України. Тенденції розвитку техніки прямо впливають на процес пайки і компоненти, що застосовуються в ньому. Існує велика різноманітність напрямків пов'язаних з ремонтом електронної апаратури з застосуванням паяльних, інфрачервоних, термоповітряних станцій тощо. Ці станції представляють собою не просто паяльник, а складний блок, що здійснює встановлення та підтримання температури інструменту на встановленому рівні, який задіяний в технологічному процесі виготовлення або ремонту електронної апаратури. Проте, у багатьох сучасних пристроях в яких вбудований модуль терморегуляції а також індикації температури, актуальною є проблема помилкового відображення температури на екрані. Це відбувається, в основному, через реалізацію в даних пристроях регулятора температури з некоректним законом регулювання. Дана проблема зазвичай вирішується додаванням інтегральної складової до пропорційного регулятора.

Використання паяльної станції з можливістю змінити насадки жала паяльника і регулюванням температури дозволяє виконувати роботи різного рівня складності та більш оптимально вибирати режими процесу пайки.

Мета роботи. Провести аналіз існуючих методів регулювання температури виконавчих елементів паяльної станції та запропонувати схемні рішення для їх реалізації.

Огляд літературних джерел в напрямку дослідження. Як відомо [1] регулятором називають повнофункціональний, конструктивно оформлений у вигляді окремого блоку фізичний пристрій, що має вхід для отримання сигналу з давача керованої величини об'єкта керування, вихід для подачі сигналу керування на виконавчий механізм системи автоматичного регулювання (САР), пульт для завдання оператором необхідного поводження САР або систему зв'язку з комп'ютером, керуючим технологічним процесом.

У загальному випадку, регулятори мають чотири основні функції: вимірювання, порівняння, обчислення та коригування. Регулятор вимірює сигнал перетворювача або датчика, порівнює

виміряну величину цього сигналу з заданим значенням (встановленим), обчислює різницю між вимірним значенням і встановленим та виробляє коригуючий сигнал, який подається на регулюючий орган. Регулюючий орган є кінцевим елементом системи автоматичного регулювання.

Всі можливі методи регулювання можна розділити на ручні і автоматичні.

Очевидно, що автоматичне регулювання здатне набагато більш точно підтримувати заданий температурний режим, при цьому, набагато ефективніше використовуючи енергоресурси [2]. Обов'язковою умовою термостатування в автоматичному режимі є наявність зворотного зв'язку (33) між активними і теплочутливими елементами системи. Загальна схема термостатування зі зворотним зв'язком зображена на рисунку 1.

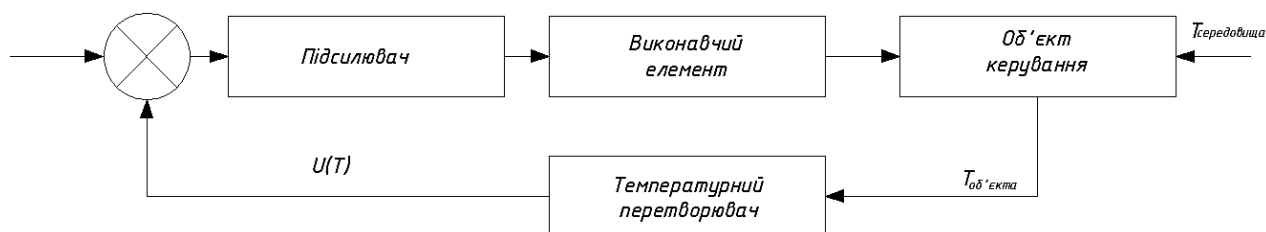


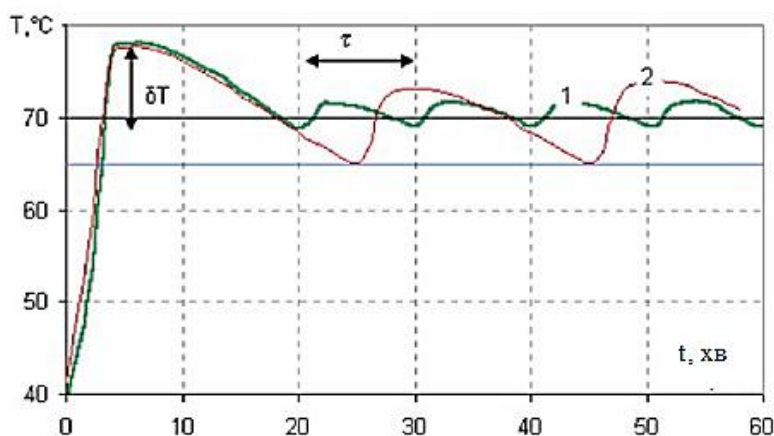
Рисунок 1 – Узагальнена схема термостатування із 33

Закони регулювання дозволяють САР вирішувати покладені на неї завдання: здійснювати спостереження і стабілізацію процесу з необхідною якістю.

Для теплових процесів найбільшого поширення набули наступні шість основних законів регулювання: двопозиційний; пропорційний; диференціальний; інтегральний; пропорційно-інтегральний; пропорційно-інтегрально-диференціальний.

Кожен метод регулювання має свої переваги і недоліки. Для кожного випадку вибирається найбільш оптимальний метод.

У переважній частині приладів з позиційним регулюванням використовуються методи 2-х і 3-х позиційного регулювання. Суть 2-х позиційного регулювання температури полягає в тому, що на нагрівальний елемент подається повна потужність до тих пір, поки температура в робочій камері не перевищить задану на певну величину, яка називається гістерезисом, після чого живлення нагрівача повністю відключається і включається знову в момент часу коли поточна температура $T_{пот}$ опуститься нижче $T_{зад}$ на величину гістерезису. Гістерезис в даному випадку існує для того, щоб уникнути занадто частих комутацій пускових елементів живлення нагрівача, які, в зв'язку з появою перехідних процесів в електричних колах, є небажаними в плані надійності та довговічності приладу. На рисунку 2 представлений в якості прикладу 2-х позиційного регулювання графік зміни температури в робочій камері з розгорткою по часу в процесі термостатування [3].



крива 1 – гістерезис $K_{h1} = 1^{\circ}\text{C}$; крива 2 – гістерезис $K_{h2} = 5^{\circ}\text{C}$.

Рисунок 2 – Приклад регулювання температури 2-х позиційним методом

Як видно з рисунка 2, при збільшенні гістерезису, що є регульованим параметром, зменшується частота включень і виключень живлення нагрівача, що позитивно впливає на надійність приладу, але при цьому, збільшується амплітуда температурних флуктуацій.

Таким чином, головним недоліком 2-х позиційного регулювання є великий розкид

температур в інтервалі $T_{зад}$ в процесі її підтримки, обумовлений як гістерезисом, так і власною тепловою інерційністю нагрівального елементу. До переваг такого методу регулювання належить максимально можливий за швидкістю набір температури.

Трипозиційне регулювання використовує два канали регулювання, що в залежності від варіацій їх сукупної роботи, забезпечують різну потужність активного елементу. При цьому є два рівні температури, одна з яких менша іншої на певну величину. В інтервалі часу, коли температура $T_{ном}$ нижче обох рівнів, включені обидва канали регулювання, що забезпечує максимальну потужність нагрівача. Коли температура $T_{ном}$ знаходиться в потрібному інтервалі, один з каналів вимикається, таким чином потужність нагрівача зменшується. У момент, коли температура перевищить $T_{зад}$, вимкнуться обидва канали нагрівача. Даний метод забезпечує більш плавний, але більш тривалий набір температури, і меншу, в порівнянні з 2-х позиційним методом, амплітуду температурних коливань близько $T_{зад}$.

Фізичний сенс пропорційного регулювання в тому, що коефіцієнт задає температурний інтервал на якому здійснюється пропорційне зменшення потужності, яка подається на нагрівач. Поза цим інтервалом на нагрівач подається повна потужність. На рисунку 3 зображено приклад регулювання температури пропорційним методом для трьох різних пропорційних коефіцієнтів.

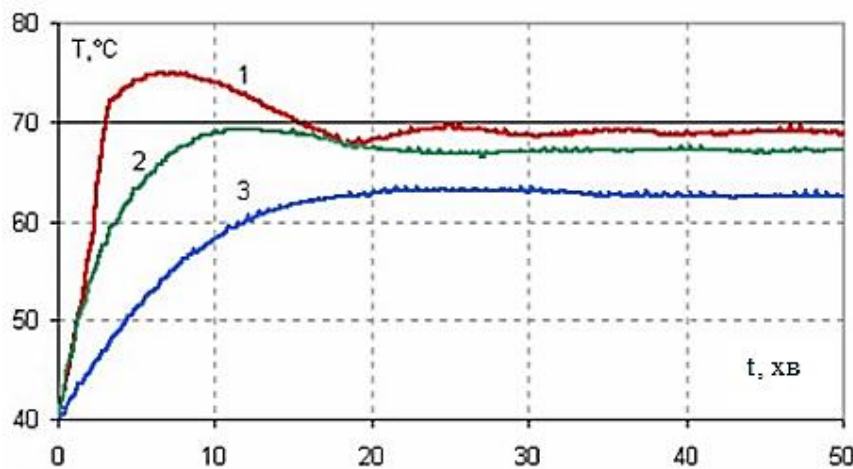


Рисунок 3 – Пропорційний метод регулювання температури

Проаналізувавши рисунок 3 можна стверджувати, що в міру збільшення K_p збільшується зона пропорційності, що в свою чергу робить підстроювання більш плавним.

Серйозним недоліком великого K_p є те, що $T_{тек}$ ніколи не дійде до $T_{зад}$. Це пов'язано з тим, що в цьому випадку потужність подана на нагрівач, при наближенні до $T_{зад}$, зменшується набагато сильніше. А, як відомо, потужність, що виділяється системою, з ростом її температури збільшується за логарифмічним законом і з певного моменту часу починає перевищувати потужність нагрівача. Методом боротьби з цим явищем є подача на нагрівач постійної складової P_0 , яка може бути розрахована, виходячи з конкретного завдання. Але найчастіше, плавний вихід на $T_{зад}$ не має сенсу, і в зв'язку з цим, зону пропорційності зменшують.

Даний метод дозволяє істотно знизити температурні флуктуації навколо заданої температури, в порівнянні з позиційними методами. Однак, збільшує час набору температури.

Інтегральний закон регулювання – це закон, згідно з яким регулюючий вплив пропорційний інтегралу за часом відхилення регульованої величини, і, отже, діє так довго, доки існує відхилення. Метод інтегрального регулювання завжди йде в парі з пропорційним. При цьому, вихідний сигнал в кожен момент часу залежить і від величини відхилення, як у пропорційному методі, і від величини рівної інтегральній сумі відхилень.

Метод пропорційно-диференціального (ПД) регулювання, полягає в прогнозуванні величини наступного відхилення, виходячи з різниці поточного і минулого. У сукупності таких величин визначається швидкість зміни відхилення, яка є диференціальною складовою методу регулювання і пропорційна їй потужність подається на нагрівач.

Пропорційно-інтегрально-диференціальне (далі ПІД) регулювання – метод, який здійснює на програмному рівні розрахунок і накладання трьох вище описаних складових управління: пропорційної, інтегральної і диференціальної за допомогою ПІД контролера. Основна перевага ПІД методу перед пропорційним методом, полягає в тому, що поточна потужність нагрівача в ПІД

методі, за рахунок диференціальної складової, залежить не тільки від близькості температури об'єкта термостатування до $T_{зад}$, але і від швидкості зміни температури в кожен момент часу і, за рахунок інтегральної складової, накопиченого середнього значення напруги за минулий період часу. Таким чином, середня температура об'єкта обов'язково прагне до $T_{зад}$.

До сфери застосування ПД регуляторів відносяться високоточні пристрої регулювання, такі як прилади суперточного позиціонування, електродвигуни з можливістю реагування на зовнішні впливи, а також прилади термостатування з точним ($\Delta T \sim 0,1^\circ\text{C}$) підтриманням температури [4]. До недоліків даного методу відноситься складна реалізація, яка потребує наявності компонентів обчислювальної техніки.

Виклад основного матеріалу. Для того, щоб отримати якісну пайку потрібно правильно підібрати потужність паяльного обладнання і забезпечити певну температуру його жала в залежності від марки застосованого припою.

Регулятор потужності можна зібрати за різними схемами. В основному вони відрізняються між собою за напівпровідниковими деталями приладу, який буде регулювати подачу струму. Це може бути тиристор або симістор. Для більш точного управління роботою тиристора або симістора в схему можна додати мікроконтролер.

Найпростіший регулятор виконується на базі діода і вимикача: для того щоб залишити паяльник в робочому стані на деякий час, не даючи йому ні вистигати, ні перегріватися. Решта регуляторів дають можливість задати температуру жала паяльника більш плавно – під різні потреби.

Тиристор – це своєрідний електронний ключ (рисунок 5). Він пропускає струм тільки в одному напрямку. На відміну від діода у тиристора 3 виходи – керуючий електрод, анод і катод. Відкривається тиристор за допомогою подачі імпульсу на електрод. Закривається при зміні напрямку або припиненні подачі через нього струму.

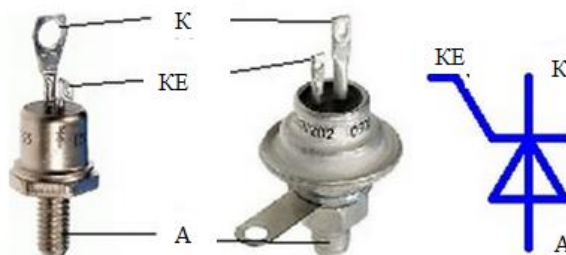
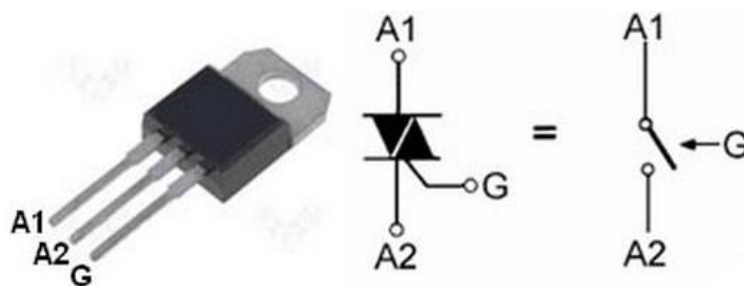


Рисунок 5 – Тиристор, його головні складові частини і відображення на схемах
А – анод, К – катод, KE – керуючий електрод

Симістор, або тріак – напівпровідниковий прилад, що є різновидом тиристора. Використовується для комутації в колах змінного струму (рисунок 6). У електроніці часто розглядається як керований вимикач (ключ). На відміну від звичайного тиристора він двосторонній, тобто проводить струм в обох напрямках і являє собою, по суті, два тиристора, з'єднаних разом.



A1 і A2 – силові електроди, G – керуючий затвор
Рисунок 6 – Симістор

Схема з вимикачем і діодом представлена на рисунку 7. Такий тип регулятора найпростіший в складанні бо має мінімальну кількість деталей. Його можна збирати без плати, навісним монтажем.

Вимикач (кнопка) замикає ланцюг – на паяльник подається вся напруга, розмикає - напруга падає, температура жала теж. Паяльник при цьому залишається нагрітим – такий спосіб хороший для режиму очікування. Підійде випрямний діод, розрахований на струм від 1 А.

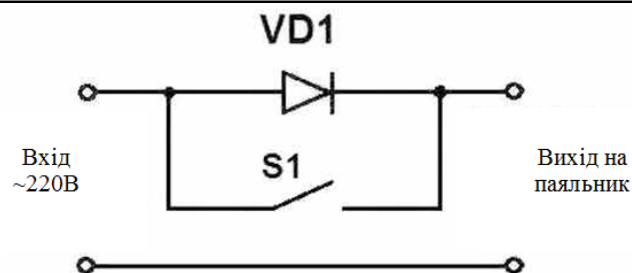


Рисунок 7 – Схема регулювання температури паяльника з вимикачем і діодом

Регулятор з обмежувачем потужності – тиристором дозволяє плавно встановлювати температуру паяльника від 50 до 100% (рисунок 8) [5]. Для того щоб розширити цю шкалу (від нуля до 100%), в схему потрібно додати діодний міст. Складання регуляторів на тиристорі і на симісторі виконується аналогічно.

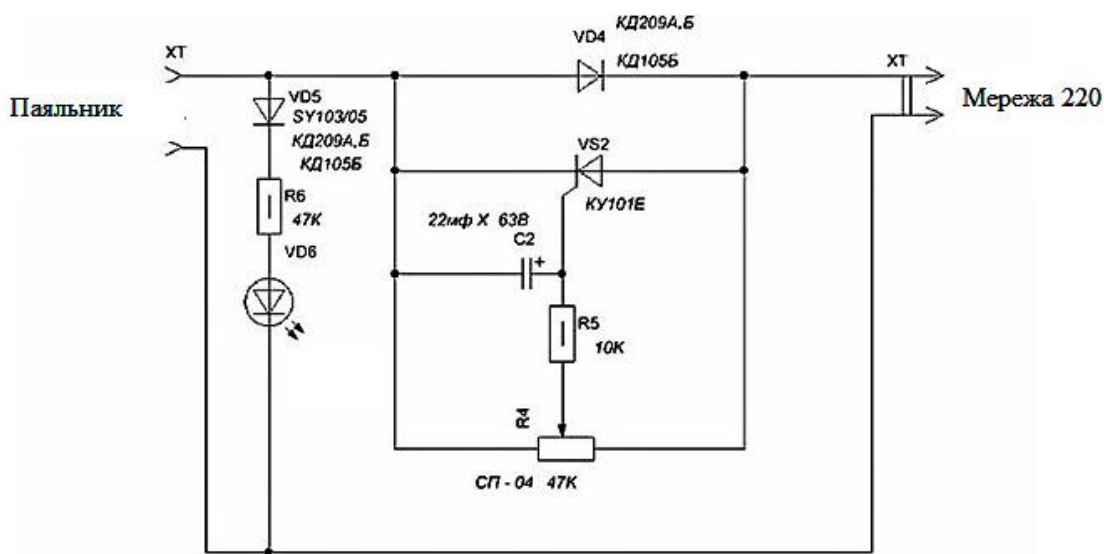


Рисунок 8 – Схема регулювання температури паяльника з малопотужним тиристором

Схема з тиристором і діодним мостом представлена на рисунку 9. Такий пристрій дає можливість регулювання потужності від нуля до 100%. У схемі використано мінімум деталей.

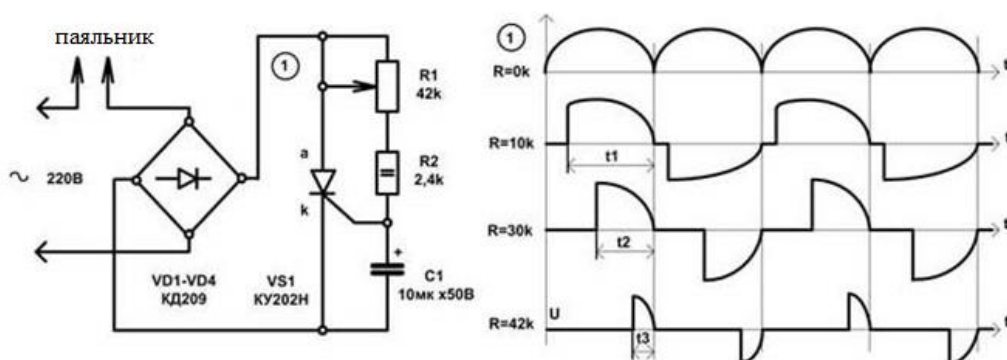


Рисунок 9 – Схема регулювання температури паяльника з тиристором і діодним мостом

Регулятор потужності з симістором на мікроконтролері. Мікроконтролер дозволяє точно встановити і відобразити рівень потужності, забезпечити автоматичне відключення регулятора, якщо з ним довго не працюють (рисунок 10). Спосіб монтажу такого регулятора істотно не відрізняється від монтажу будь-якого симісторного регулятора.

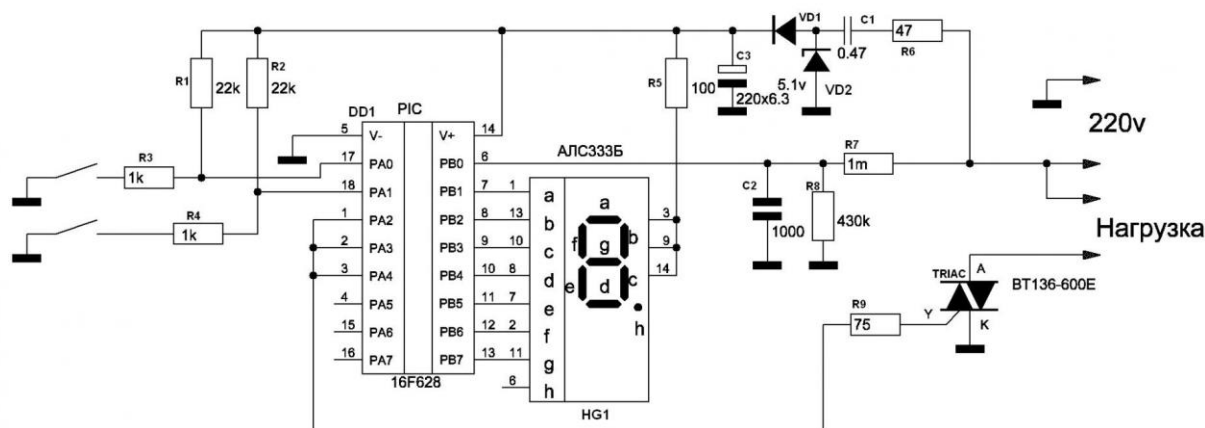


Рисунок 10 – Регулятор потужності з симістором на мікроконтролері

Такий регулятор може замінити паяльну станцію. Перед монтажем зібраний регулятор можна перевірити мультиметром. Перевіряти треба тільки з підключеним паяльником, тобто під навантаженням.

В регуляторах, зібраних за деякими з наведених вище схем, встановлені світлові індикатори. За ними можна визначити, чи працює пристрій.

Як правило, налаштування регулятора при правильно зібраній схемі не потрібне. При потужності звичайного паяльника до 100 Вт, (середня потужність - 40 Вт) жоден з регуляторів, зібраних по вищенаведеним схемами, не вимагає додаткового охолодження. Якщо паяльник дуже потужний (від 100 Вт), то тиристор або симістор потрібно встановити на радіатор, щоб уникнути перегріву.

Висновки. В роботі розглянуті принципи термостатування, основні вузли термостатуючих приладів, типи термовимірювальних пристроїв, а також основні методи температурного регулювання, застосовувані в даних приладах. Позиційні методи мають найбільшу швидкість набору температури і характеризуються величиною гістерезису, яка відображає амплітуду температурних коливань близько $T_{зад}$. Аналогові методи забезпечують плавний вихід на $T_{зад}$ і більш точну її підтримку. Ці методи включають в себе три складові: пропорційну, що залежить від поточної різниці температур, інтегральну, яка забезпечує середню температуру максимально близькою $T_{зад}$ і диференціальну, яка залежить від швидкості зміни температурної різниці в кожен момент часу. Дві останні складові завжди працюють в парі з пропорційною. Поєднаннями цих складових можна отримувати різні методи регулювання, що мають свої переваги і недоліки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mazón-Valadez C., Quintero-Hernández L. H., Mazón-Valadez E. E., Hernández-Sámano A., Ávila-Paz J., Cano-González M. E. Developing a self-regulating soldering iron based on induction heating. *Dyna*, vol. 83, no. 196, 2016. PP. 159-167. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n196.51208>
2. Shtennikov V. N., Seleznev V. D. Quality improvement of manual soldering of microwave devices. 23rd International Conference Microwave & Telecommunication Technology. Ukraine, 2013. PP. 790-791.
3. Лишук В. В., Приступа С. О., Кайдик О. Л., Оляньський В. В. Аналіз методів температурного регулювання в процесі монтажу радіоелектронних елементів. *Технічні вісті*. 1(51), 2(52), 2020. С.62-66.
4. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кіберенергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В. П. Бунь. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 144 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41587/1/Teoriia_avtomat_uprav.pdf (дата звернення 10.10.2023р)
5. Adamy J. *Nonlinear Systems and Controls* Berlin: Springer Vieweg, 2022. 754 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-65633-4> (дата звернення 10.10.2023р)

УДК 681.72

В. Ю. Денисюк, Р. А. Гарбарчук

Луцький національний технічний університет

E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ НА БАЗІ ВИМІРЮВАННЯ ОПТИЧНИХ СПЕКТРІВ

У даній роботі проведено огляд оптичних спектральних приладів, їх класифікацію за принципом дії та реєстрацією спектрометричної інформації, розглянуто принцип дії кожного з них та виконано зіставлення за їх основними характеристиками. Розглянуто спектральні прилади з призмою і дифракційною решіткою, прилад на базі акустооптичного перебудовуваного фільтра, Фур'є-спектрометр і багатоканальний оптичний спектрометр. Зіставлення приладів виконано за такими параметрами і характеристиками: роздільна здатність, аналізований діапазон частот (довжин хвиль), вплив передачі випромінювання по волокну на роздільну здатність, час вимірювання спектра, динамічний діапазон, швидкодія та масогабаритні характеристики.

Ключові слова: оптична спектроскопія, контроль, спектральний прилад, аналізатор спектру, дифракційна решітка, вимірювання.

V. Denysiuk, R. Harbarchuk. Analysis of optical spectral devices for control tasks based on vimentary optical spectra. In this work, an overview of optical spectral devices, their classification according to the principle of operation and registration of spectrometric information was carried out, the principle of operation of each of them was considered, and a comparison was made according to their main characteristics. Spectral devices with a prism and a diffraction grating, a device based on an acousto-optic adjustable filter, a Fourier spectrometer and a multi-channel optical spectrometer are considered. The comparison of devices is made according to the following parameters and characteristics: resolution, analyzed frequency range (wavelength), influence of radiation transmission through the fiber on resolution, time of spectrum measurement, dynamic range, speed and mass-dimensional characteristics.

Key words: optical spectroscopy, control, spectral device, spectrum analyzer, diffraction grating, measurement.

Постановка проблеми. Застосування методів оптичного неруйнівного контролю надзвичайно поширене у різних галузях науки, техніки та промисловості. Серед різних видів оптичного контролю слід виділити спектральний метод, який базується на принципах оптичної спектроскопії і пов'язаний з вивченням спектральних характеристик емісійного, відображеного або пройшовшого через об'єкт контролю оптичного випромінювання і дослідженням за отриманим спектром інформації про його стан.

Спектральний метод дозволяє здійснювати контроль у режимі реального часу. Це особливо актуально, коли потрібен мінімальний час отримання інформації в режимі реального часу про зміну стану контрольованого процесу чи об'єкта. У ряді випадків метод є єдиним можливим, наприклад, при вивченні та контролі віддалених або важкодоступних об'єктів. Технічні засоби контролю оптичним спектральним методом мають високу швидкодію і малу інерційність, що дуже актуально при контролі швидкоплинних процесів або у разі, коли необхідне дуже швидке спрацювання апаратури захисту для запобігання критичних ситуацій на небезпечних об'єктах. Метод дозволяє не порушувати фізичних та хімічних умов на контрольованому об'єкті, тобто не вносити збурень у досліджуване середовище.

Однією з основних характеристик апаратури оптичного спектрального контролю є роздільна здатність, тому завдання покращення та вдосконалення цієї характеристики є актуальним. На жаль, роздільна здатність приладу з дифракційною решіткою обмежується роботою в першому або, у кращому випадку, другому дифракційному порядку, тому, що інтенсивність дифрагованого світла у більш вищих порядках значно зменшується. Таким чином, в даний час існує проблема, що полягає в необхідності розробки дифракційних решіток нового типу, що дозволяють успішно виконувати спектральні вимірювання у високих дифракційних порядках (третьому або навіть четвертому), де роздільна здатність приладу значно краща.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У ряді випадків процедура контролю вимагає розміщення приладу у несприятливих для нього умовах. У цьому випадку не можна ігнорувати появу частотних і просторових спотворень, викликаних передачею сигналу волоконно-оптичною системою передачі (ВОСП), на результат спектральних вимірювань, що вимагає введення їх додаткової корекції. Крім того, не вирішено питання оцінки енергетичних втрат у системі виведення випромінювання із ВОСП, а також не розроблено методику розрахунку параметрів оптичних елементів системи виведення випромінювання із ВОСП для мінімізації цих втрат. Ці питання також потребують обговорення та подальшої розробки. Погіршення роздільної здатності спектрального приладу внаслідок передачі оптичного сигналу ВОСП також актуалізує завдання розробки приладів з поліпшеною роздільною здатністю [1, 2].

До числа процесів і об'єктів, контроль яких можливий оптичним спектральним методом, можна віднести, наприклад, такі: процеси горіння в топках теплоенергетичних установок і двигунах, процес виплавки металів і сплавів у металургії, фарбування матеріалів у текстильній промисловості, контроль екологічної обстановки та навколишнього середовища тощо. Фізико-хімічні процеси, що протікають при цьому на об'єктах контролю пов'язані з емісією електромагнітного випромінювання у досить широкому діапазоні частот, у тому числі в оптичному. В результаті аналізу спектру емісійного випромінювання вдається отримати надзвичайно різноманітну інформацію про процес, що протікає, або стан об'єкта, а також виділити ряд інформаційних ознак, на підставі яких можливе здійснення процедури контролю та управління цими процесами [3, 4, 5].

Серед технічних засобів оптичного контролю слід виділити спектральний прилад з дифракційною решіткою, який є одним із найпоширеніших типів оптичних спектральних приладів, що застосовуються у різних галузях наукових досліджень [6, 7, 8]. Прилад цього типу дозволяє здійснювати мульти- і гіперспектральний контроль, тобто має можливість контролю множини дуже вузьких спектрів випромінювання або поглинання (наприклад, спектральних ліній атомів та молекул) у широкому діапазоні аналізованих частот (довжин хвиль) [9].

Мета роботи. Провести аналіз існуючих оптичних спектральних приладів з метою підвищення роздільної здатності безконтактного оптичного спектрального методу контролю за рахунок вимірювання спектрів у високих дифракційних порядках.

Викладення основного матеріалу. Широку номенклатуру оптичних спектральних приладів за принципом дії можна умовно поділити на кілька підкласів [1].

У приладах послідовної дії зчитування (реєстрація) спектра проводиться шляхом послідовного сканування по всьому діапазону аналізованих частот. При цьому реєстрація проводиться за допомогою єдиного фотодетектора.

Для приладів паралельної дії характерне одночасне зчитування спектру за допомогою ПЗЗ-лінійки або кількох фотодетекторів у каналах приладу.

Дифракційні спектральні прилади. У приладах цього класу спектральний розподіл здійснюється за рахунок застосування диспергуючого елемента: дифракційної решітки, призми або акустооптичного фільтра, що перебудовується.

Оптична схема дифракційного спектрального приладу представлена на рисунку 1.

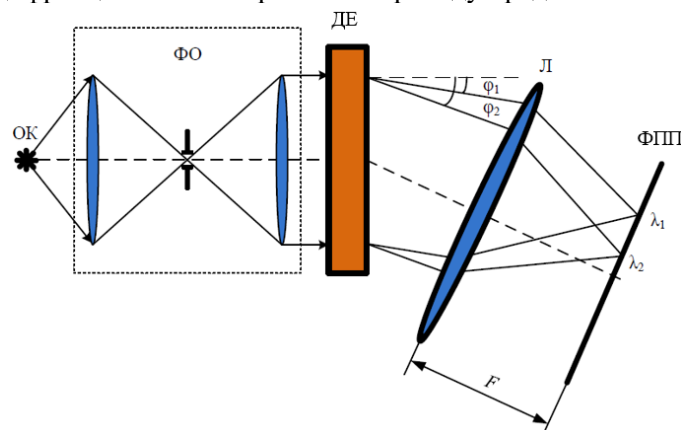


Рисунок 1 – Оптична схема спектрального дифракційного приладу: ОК – об'єкт контролю; ФО – система формуючої оптики; ДЕ – диспергуювальний елемент; ФПП – фотоприймачі; Л – лінза; F – фокусна відстань лінзи

Дифракційний оптичний спектральний прилад включає в себе чотири основні ланки: систему формуючої оптики (ФО), диспергувальний елемент (дифракційна решітка, призма або акустооптичний фільтр, що перебудовується), лінзу і пристрій зчитування спектрометричної інформації (точковий фотоприймач або ПЗЗ-лінійка). Сукупність диспергуючого елемента, лінзи, оточеної двома шарами вільного простору з протяжністю F , прийнято називати роздільною системою спектрального приладу.

Система формуючої оптики (ФО) призначена для створення однорідного плоского фронту хвилі, падаючої на елемент, що диспергує. Диспергувальний елемент (ДЕ) виконує просторовий поділ спектральних складових оптичного випромінювання, що аналізується.

Згідно з широко поширеною точкою зору в класичній оптичній спектрометрії [1], розташована далі лінза фокусує розділені по простору спектральні складові в задній фокальній площині в різних точках простору.

Послідовний аналіз оптичного спектра здійснюється за допомогою періодичного коливання диспергуючого елемента. При цьому зчитування спектрометричної інформації здійснюється за допомогою вузької щілини та єдиного фотоприймача.

У разі застосування багатоелементних фотоприймальних пристроїв (ФПП), наприклад, ПЗЗ-лінійок, можливе паралельне зчитування та відображення спектрометричної інформації без необхідності повороту диспергуючого елемента.

Головною перевагою призмових спектральних приладів можна вважати [2] відсутність дифракційних порядків, які перекривають один одного, що розширює діапазон аналізованих частот.

Тим не менше, призмові прилади останнім часом витісняються приладами з дифракційною решіткою через свої істотні недоліки:

1. Призмові прилади мають недостатньо хорошу спектральну роздільну здатність у порівнянні з приладами з дифракційною решіткою, що безпосередньо впливає інформаційність оптичного спектрального методу контролю.

2. Потрібне виготовлення призми з матеріалу, що є оптично прозорим у широкому діапазоні аналізованих частот (довжин хвиль). На жаль, виготовити призму для всього діапазону довжин хвиль, що аналізуються, не вдається, тому в сучасних аналізаторах застосовується набір призм, призначених для конкретного діапазону довжин хвиль.

Спектральні прилади з дифракційною решіткою мають такі переваги:

1. Мають набагато кращу спектральну роздільну здатність.

2. Мають найкращі масогабаритні характеристики порівняно із призмовими.

До недоліків решіткових спектральних приладів можна віднести перекриття дифракційних порядків, що може бути усунене шляхом застосування ширококутових світлофільтрів для роботи в конкретному дифракційному порядку.

Спектральний прилад на базі акустооптичного фільтра, що перебудовується. На рисунку 2 представлена схема оптичного спектрального приладу на базі акустооптичного фільтра, що перебудовується (АОПФ).

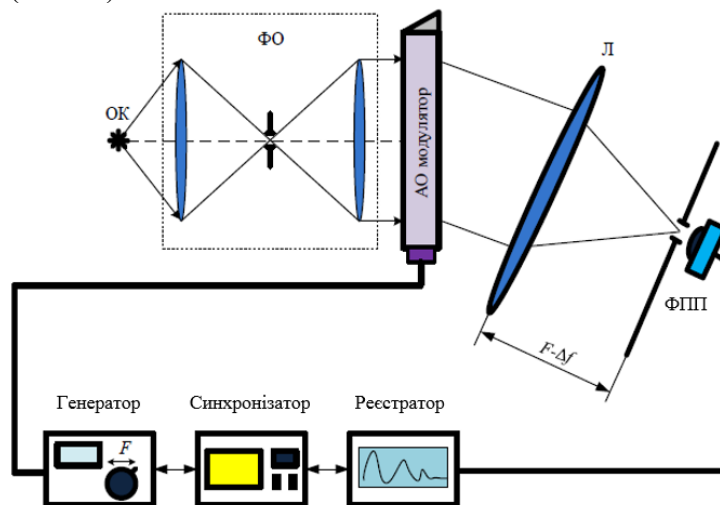


Рисунок 2 – Схема оптичного спектрального приладу з урахуванням АОПФ

Принцип роботи оптичних спектральних приладів на базі АОПФ полягає в тому, що оптичне

випромінювання дифрагує на решіткоподібній структурі, що перебудовується, у формі акустооптичного (АО) модулятора, яка формується акустичною хвилею, що поширюється в середовищі акустооптичної взаємодії і, таким чином, є решіткоподібною структурою. Ця структура, що забезпечує спектральну селекцію оптичного випромінювання, формується під дією періодичного електричного керуючого коливання безпосередньо у процесі роботи акустооптичного фільтра, що перебудовується. Причому електричне керуюче коливання являє собою періодичну послідовність електричних імпульсів (радіоімпульсів) з лінійною зміною миттєвої частоти. Створювана решіткоподібна структура зі змінним кроком дозволяє послідовно виявляти спектральні компоненти оптичного сигналу. При цьому суттєво спрощується процедура зчитування спектрометричної інформації за допомогою вузької щілини та єдиного фотодетектора.

Характеристики цієї решіткоподібної структури можуть бути контрольованим способом змінені швидко та у значних межах. На базі приладу з АОПФ може бути реалізований безконтактний метод вимірювання оптичного спектра. У роботі [6] розглянуто спектральний прилад на базі АОПФ із застосуванням ВОСП, а також виконані експериментальні дослідження щодо встановлення впливу передачі аналізованого сигналу з ВОСП на метрологічні характеристики приладу.

Прилади такого типу мають деякі переваги в порівнянні з призмовими і приладами з дифракційною решіткою. Так, оптичні спектральні прилади на базі АОПФ не містять механічних рухомих частин при зчитуванні спектрометричної інформації єдиним фотоприймачем.

Ще однією перевагою спектральних приладів цього типу є можливість додетекторної корекції частотних характеристики акустооптичної взаємодії, а, отже, всього тракту вимірювальної системи з допомогою зміни потужності підведеного керуючого коливання.

Роздільна здатність оптичного спектрального приладу на базі АОПФ може бути одного порядку, що і у спектральних приладів з дифракційною решіткою при виконанні визначених вимог до якості акустооптичного модулятора, правильному налаштуванні його режиму роботи, юстуванні.

Разом з тим, слід зазначити низку недоліків приладу з урахуванням АОПФ:

1. Пристрій і принцип дії приладу вимагає у своєму складі блоку генерації сигналу з лінійно змінною миттєвою частотою, а також пристрою синхронізації, що безпосередньо впливає на вартість приладу.

2. Дифракція та згасання акустичних хвиль у модуляторі безпосередньо впливають на метрологічні характеристики приладу.

Паралельний аналізатор спектру сигналів оптичного діапазону. Розглядаючи та виконуючи порівняльний аналіз приладів, що виконують спектральні вимірювання в оптичному діапазоні, не можна не розглянути прилад нового класу – паралельний аналізатор спектру сигналів оптичного діапазону [3, 4]. Функціональна схема цього приладу наведено на рисунку 3.

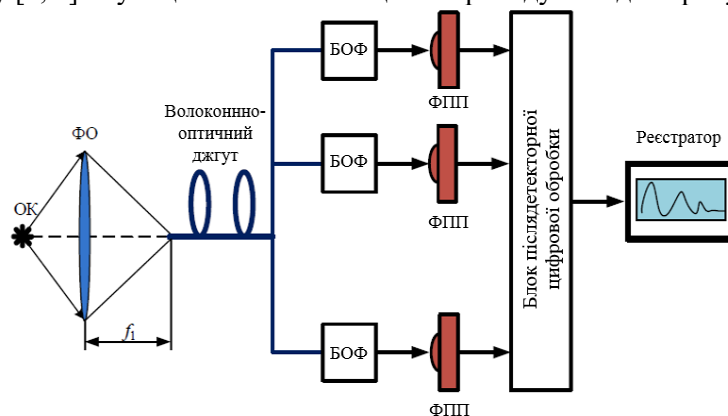


Рисунок 3 – Структурна схема паралельного аналізатора спектру сигналів оптичного діапазону:
БОФ – блок оптичної фільтрації

Паралельний аналізатор спектру сигналів оптичного діапазону працює наступним чином: оптичне випромінювання від об'єкта контролю надходить на формуючу оптику. Для введення оптичного випромінювання у блоки оптичної фільтрації, використовується волоконно-оптичний джгут, що дозволяє перенести прилад на безпечну для нього відстань від контрольованого об'єкта, що знаходиться в умовах підвищеної температури, вологості, агресивного хімічного середовища та інших негативних умов, що дозволяє віднести цей прилад до засобів безконтактної оптичної

спектроскопії. Блоки вузькосмугової оптичної фільтрації виконують спектральне розкладання за допомогою оптичних інтерференційних фільтрів, кожен з яких налаштований певну частоту (довжину хвилі). Зчитування спектрометричної інформації у паралельному аналізаторі спектру сигналів здійснюється фотоприймачем, встановленим кожному каналі.

Перевагою паралельного аналізатора спектра сигналів є відсутність впливу форми фронту падаючого оптичного випромінювання на результат вимірювання. Таким чином, передача аналізованого випромінювання по волокну ніяк не впливає на роздільну здатність приладу.

Недоліками приладу цього класу є:

1. Роздільна здатність приладу визначається смугою пропускання інтерференційних фільтрів. Сучасні технології дозволяють виробляти інтерференційні фільтри зі смугою пропускання аж до сотих часток нанометра, але вартість таких фільтрів надзвичайно висока. Смуга пропускання комерційно доступних фільтрів складає кілька нанометрів, що критично при виконанні спектральних вимірювань з високою роздільною здатністю.

2. Для аналізу широкої смуги частот з високою роздільною здатністю необхідне створення великої кількості каналів (до кількох тисяч), що значно погіршує масогабаритні та вартісні характеристики приладу.

Фур'є-спектрометр. Альтернативним варіантом для мети спектрального аналізу в оптичному діапазоні є застосування приладів, заснованих на принципі Фур'є-спектроскопії [6, 9].

Відповідно до теореми Бохнера, енергетичний спектр $G(\omega)$ фінітної реалізації подається у вигляді:

$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (1)$$

де $R(\tau)$ – кореляційна функція.

На базі теореми Бохнера можливе отримання енергетичного спектру як у радіодіапазоні, так і в оптичному діапазоні. В оптичному діапазоні цей метод реалізується за допомогою Фур'є-спектрометрів, де тимчасова кореляційна функція оптичного сигналу $R(\tau)$, названа інтерферограмою у Фур'є-спектроскопії, обчислюється за допомогою інтерферометра Майкельсона. Таким чином, алгоритм дії Фур'є-спектрометра, схема якого наведено рисунку 4, полягає у наступному:

1. Отримання тимчасової кореляційної функції аналізованого оптичного випромінювання.
2. Детектування кореляційної функції та її перетворення на цифровий вигляд.
3. Виконання операції швидкого перетворення Фур'є.

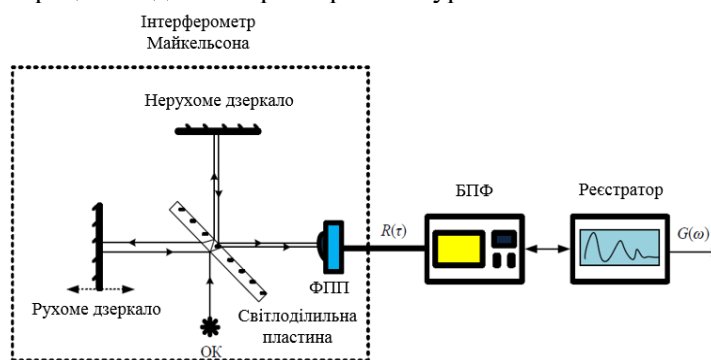


Рисунок 4 – Схема Фур'є-спектрометра

Отримання кореляційної функції в інтерферометрі Майкельсона виглядає наступним чином. Пучок світла від джерела оптичного випромінювання спрямовується на світлоділильну пластину, де ділиться на два пучки – пройшовший і відбитий, приблизно однакової інтенсивності.

Пройшовши деякі відстані, ці пучки потрапляють на дзеркала, відбиваються ними у зворотних напрямках і знову падають на світлороздільну пластину. Пластина знову частково відображає і частково пропускає світло, в результаті чого утворюється пучок світла, що є сумішшю пучків, що пройшли через різні плечі інтерферометра Майкельсона. Цей пучок світла потрапляє на фотоприймач. Рухаючи одне із дзеркал інтерферометра у напрямку падаючого на нього світлового пучка, можна змінювати оптичну різницю ходу променів, домагаючись тим самим різних час затримки τ при визначенні кореляційної функції у виразі (1).

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

Подальше обчислення енергетичного спектра здійснюється за допомогою БПФ на ЕОМ.

Перевагою Фур'є-спектрометрів є їх дуже висока роздільна здатність.

До недоліків Фур'є-спектрометра можна віднести наявність високопрецизійної механічної частини для переміщення дзеркала, а також масогабаритні характеристики. Наприклад, потрібно дуже точне переміщення дзеркал, що потребує відповідної механіки та складних систем керування дзеркалами з використанням опорного лазерного каналу. Для отримання якісних інтерферограм оптичні елементи мають бути високої якості. Все це призводить до того, що Фур'є-спектрометри досить дорогі.

Сукупність переваг та недоліків спектральних приладів можна відобразити у порівняльній таблиці 1.

Таблиця 1 – Зіставлення спектральних приладів

Порядковий номер	Характеристика	Оптичний спектральний прилад				
		Спектральний прилад із дифракційною решіткою	Призмовий спектральний прилад	Прилад на базі АОПФ	Фур'є-спектрометр	Паралельний аналізатор спектра сигналів
1	Роздільна здатність	Висока (~0,01 нм)	Невисока (~0,1 нм)	Висока (~0,01 нм)	Дуже висока (~0,001 нм)	Визначається смужкою пропускання фільтра (до 0,1 нм)
2	Аналізований діапазон	Визначається параметрами оптичної системи (періодом та апертурою решітки та фокусною відстанню лінзи)	Широкий	Визначається перебудовою фільтра (зазвичай широкий)	Визначається ходом дзеркала	Визначається кількістю фільтрів
3	Вплив передачі випромінювання за ВОСП	Впливає, погіршує роздільну здатність	Впливає, погіршує роздільну здатність	Впливає, погіршує роздільну здатність	Не впливає	Не впливає
4	Час вимірювання спектру	Малий (визначається швидкістю ПЗЗ-лінійки та часом інтегрування)	Малий (визначається швидкістю ПЗЗ-лінійки та часом інтегрування)	Досить великий (визначається швидкістю перебудови частоти)	Досить великий (визначається швидкістю переміщення дзеркала)	Малий (визначається швидкістю фотодетекторів та часом інтегрування)
5	Динамічний діапазон	Великий	Великий	Великий	Дуже великий	Невеликий (великі втрати сигналу у кожному каналі)
6	Швидкодія	Висока	Висока	Найвища	Низька, тому що потрібен час на переміщення дзеркала	Висока
7	Масогабаритні характеристики	Дуже компактний, невелика вага	Компактний	Дуже компактний, невелика вага	Громізка конструкція, велика вага	Громізка конструкція, велика вага внаслідок застосування великого набору каналів

Таким чином, серед усіх приладів, які можуть бути використані для завдань контролю різних фізичних і технологічних процесів, спектральний прилад з дифракційною решіткою є найкращим, оскільки поєднує в собі чудові технічні характеристики (роздільна здатність, діапазон аналізованих частот (довжин хвиль), час вимірювання, динамічний діапазон тощо).

Недоліком спектрального приладу з дифракційною решіткою є вплив на результат спектральних вимірювань передачі аналізованого випромінювання ВОСП, яка формує фронт хвилі, що падає на вхід спектрального приладу, відмінний від необхідного однорідного і плоского. Це спричиняє появу специфічних спотворень під час виконання спектроскопічних вимірювань безконтактним методом.

Висновки. Серед широкої номенклатури оптичних спектральних приладів слід виділити спектральний прилад з дифракційною решіткою як найбільш поширений і володіючий рядом переважних характеристик для застосування у задачах контролю. Передача аналізованого оптичного випромінювання від джерела до вхідної апертури спектрального приладу ВОСП призводить до того, що фронт падаючої на вхід спектрального приладу хвилі стає неоднорідним і не плоским, а також до виникнення енергетичних втрат в системі. Це викликає погіршення метрологічних характеристик спектрального приладу з дифракційною решіткою, що породжує необхідність встановлення впливу передачі аналізованого оптичного випромінювання по ВОСП на результат спектральних вимірювань. Широка сфера застосування оптичного спектрального методу у завданнях контролю різних процесів та об'єктів потребує подальшого поліпшення метрологічних характеристик апаратури контролю на базі спектрального приладу з дифракційною решіткою.

На основі виконаного зіставлення оптичних спектральних приладів, а також з урахуванням специфіки розглянутих областей застосування оптичної спектроскопії, можна зробити висновок про доцільність застосування спектрального приладу з дифракційною решіткою для контролю та необхідності поліпшення основної метрологічної характеристики приладу – його роздільної здатності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Афанасьєва О. В., Курський Ю. С., Одаренко Є. М. Оптичні вимірювання: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2021. Ч.1. 180 с.
2. Солтис І. В. Техніка спектроскопії: навч. посіб. Чернівці: ЧНУ, 2022. 132 с.
3. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання: навч. посіб.: у 2-х кн. Київ: Політехніка, 2018. Кн. 1. 376 с.
4. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання: навч. посіб.: у 2-х кн. Київ: Політехніка, 2019. Кн. 2. 336 с.
5. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз методів метрологічного забезпечення високоточного контролю похибок механічних пристроїв переміщень об'єктів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2022. С. 20–25.
6. Лепіх Я. І., Сантоній В. І., Будіянська Л. М. Оптико-електронні системи ближньої локації: монографія. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова, 2019. 294 с.
7. Денисюк В. Ю., Гарбарчук Р. А. Використання дифракційного методу вимірювання для контролю співвісності отворів деталі. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку фундаментальних, прикладних, загальнотехнічних та безпекових наук*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 21 черв. 2023 р. Київ, 2023. С. 91–96.
8. Денисюк В. Ю., Гарбарчук Р. А., Холонівець А. В. Аналіз оптичних методів вимірювання лінійних переміщень об'єктів. *Приладобудування: стан і перспективи*. зб. матер. XXII міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 16 – 17 трав. 2023 р., Київ, 2023, С. 50–53.
9. Однодворець Л. В., Пазуха І. М., Лукавенко І. М. Оптоелектронні і лазерні системи в електроніці та медицині: навч. посіб. Суми: СДУ, 2022. 127 с.

УДК 681.72

В. Ю. Денисюк, В. В. Яблонський

Луцький національний технічний університет

E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЛІТОГРАФІЧНИХ МАСОК З ДОПОМОГОЮ СКАНУЮЧОГО ЗОНДОВОГО МІКРОСКОПА

У даній роботі проведено аналіз методик і способів скануючої зондової літографії для формування літографічних масок для подальшого виготовлення наночастинок з різним аспектним співвідношенням, а також металевих нанорозмірних дрітків як окремо розташованих, так і з масивними контактами з одного або різних металів. Встановлено, що методика точкового індентування з включеним зворотним зв'язком є найбільш оптимальною при створенні літографічної маски для формування круглих наночастинок при товщині плівки поліметилметакрилату менше 100 нм з використанням спеціальних алмазних зондів. При більш товстих плівках полімеру форма одержуваної маски спотворюється, внаслідок конструктивних особливостей приладу. При створенні прямокутних частинок найбільш оптимальною є методика багаторазового сканування однієї області в контактному режимі.

Ключові слова: мікроскопія, індентування, сканування, зонд, маска, полімер, структура.

V. Denysiuk, V. Yablonskyi. Method of creating lithographic masks using a scanning probe microscope. In this work, the techniques and methods of scanning probe lithography for the formation of lithographic masks for the subsequent production of nanoparticles with different aspect ratios, as well as metal nano-sized wires, both individually located and with massive contacts of the same or different metals, were analyzed. It was established that the method of point indentation with the included feedback is the most optimal when creating a lithographic mask for the formation of round nanoparticles with a polymethyl methacrylate film thickness of less than 100 nm using special diamond probes. With thicker polymer films, the shape of the resulting mask is distorted due to the design features of the device. When creating rectangular particles, the technique of multiple scanning of one area in contact mode is the most optimal.

Key words: microscopy, indentation, scanning, probe, mask, polymer, structure.

Постановка проблеми. Зростаючий інтерес до отримання та дослідження металевих феромагнітних частинок або дрітків мікронного та нанометрового масштабу обумовлений широким спектром застосування. Найбільш актуальним напрямом є створення різноманітних магнітних датчиків або середовищ, що використовуються у носіях інформації, а також у пристроях спітроніки. Крім патернованих систем із окремо розташованих феромагнітних частинок у якості середовища для запису інформації в останній час пропонується використовувати кристали (наприклад, сегнетоелектрики або манганіти), на поверхні яких можна створювати нанометрові області, які мають особливі властивості.

Інтенсивний розвиток скануючої зондової мікроскопії (СЗМ) призвів до появи нових методів дослідження поверхні та формування структур. Наприклад, для отримання на поверхні підкладки окремо розташованих частинок широко використовується скануюча зондова літографія (СЗЛ). Латеральні розміри та конфігурація структур, одержуваних методом СЗЛ, зіставні з розмірами та конфігурацією структур, сформованими під час використання електронно-променевої літографії (ЕПЛ). Однак у більшості випадків таких результатів за допомогою СЗЛ вдається добитися тільки на тонких полімерних плівках. І, як наслідок цього, структури, одержувані на кінцевому етапі, мають малу товщину. Для формування товстіших об'єктів з малими латеральними розмірами необхідно, відповідно, використовувати товсті (більше 100 нм) полімерні плівки, що призводить до утруднення використання стандартних методів СЗЛ. Вирішення проблем при створенні наноструктур високої якості, пов'язаних з використанням стандартних методів СЗЛ при формуванні масок у товстих полімерних плівках є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Скануюча зондова літографія (СЗЛ) набуває все більшої популярності для створення різноманітних об'єктів на поверхні підкладок. Крім добре відомих механічних методик СЗЛ, таких як статична, динамічна літографії та індентування, стали з'являтися все більш нові методи. До них можна віднести Dip-Pen літографію (ДПЛ) електричну чи

зарядову літографію [1, 2].

СЗЛ має ряд переваг щодо інших методів літографії. Перше – даний метод є порівняно дешевим, а його поширеність робить його доступним. Важливою перевагою СЗЛ є можливість контролювати якість одержуваних масок за допомогою того ж зондового мікроскопа, який використовувався для літографії. Крім того, цей мікроскоп може використовуватися для отримання інформації про морфологію, магнітних та електричних властивостей виготовленої після напилення структури. Це говорить про універсальність СЗМ. СЗЛ успішно використовується для створення масивів впорядкованих окремо розташованих частинок або нанодотів [3, 4]. Масиви магнітних частинок використовуються для досліджень процесів перемагнічування, у тому числі для термоасистивного перемагнічування (HAMR). Нанодоти на діелектричній підкладці є хорошим об'єктом для вивчення перебудови їх магнітної структури під впливом імпульсу струму високої густини, оскільки за рахунок малих розмірів досліджуваного об'єкта можна легко досягти густини струму 10^{13} А/м² [5].

Мета роботи. Провести аналіз методик СЗЛ та адаптувати їх для створення літографічних масок у полімерних плівках різної товщини для подальшого формування нанорозмірних структур.

Викладення основного матеріалу. У більшості випадків механічні СЗЛ методики добре працюють для тонких (~40 нм) полімерних плівок. Це пов'язано з тим, що при виготовленні масок використовується сила тиску зонда на поверхню зразка. Зонди, що застосовуються в СЗЛ, мають в основному конічну форму. По мірі занурення кінчика голки в полімер відбувається різке збільшення площі контакту. Це призводить до помітного опору з боку резистивної плівки та досягнення заданого оператором значення сили тиску зонда на зразок. В результаті, при використанні полімерної товстої плівки (>50 нм) при тих же параметрах, що й для тонкої плівки, маску виготовити не вдасться. Звичайно, можна піти відомим шляхом і не використовувати товсті плівки. Але в цьому випадку можна забути і про товщину створюваної структури, оскільки при «вибуховій» літографії для успішного процесу видалення зайвого матеріалу необхідно, щоб товщина напиленого шару була меншою за товщину полімеру. А для структур із вертикальною намагніченістю необхідно мати достатню товщину. Але повністю відмовлятися від такого простого методу виготовлення масок не варто. Можна встановити досить велику силу тиску АСМ зонда на поверхню, при якій в кінцевому підсумку полімер буде продавлений. Мінусом використання великої сили впливу зонда на зразок є збільшення ймовірності пошкодження зонда у процесі літографії, це призводить до розширення мінімально можливих структур, зменшення різкості одержуваного зображення, а також до погіршення роздільної здатності при вивченні топології одержаних структур без заміни кантилевера [1].

Базовими методами силової СЗЛ є статична, динамічна літографія та індентування. У всіх перерахованих методах СЗЛ, мінімальні розміри одержуваних структур залежать від геометричних характеристик зонда – радіуса закруглення голки та кута сходження при її вершині. Розглянемо можливості та обмеження СЗЛ методик, що дозволяють формувати в полімерному шарі поліметилметакрилату (ПММА) маски, які будуть використовуватися для створення металевих структур. СЗЛ дозволяє створювати літографічні маски (пори в полімері) для формування на підкладці ансамблів частинок із заданою формою. Наприклад, для створення круглих частинок з однаковими розмірами найкраще підходить методика індентування [2]. Схема роботи приладу у цьому режимі представлена на рисунку 1.

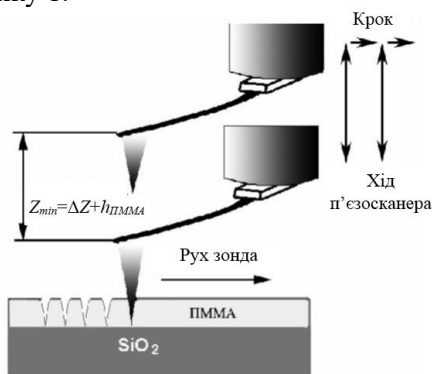


Рисунок 1 – Схема роботи АСМ у режимі індентування: Z_{min} – мінімальне значення ходу п'єзосканера АСМ у напрямку осі Z; ΔZ – висота підйому голки над ПММА; $h_{ПММА}$ – товщина шару ПММА; крок – відстань на яку має пересунути зонд по горизонталі над зразком від попередньої до наступної дії (крок індентування)

Розглянемо процес створення круглих пор методом індентування. Головним параметром, від якого залежить розмір пор при використанні методів СЗЛ, є сила, з якою зонд тисне на поверхню ПММА при ідентифікації. За аналізом кривих атомно-силової спектроскопії (АСС) її вдається визначити. Оскільки пружні властивості ПММА та підкладки різні, то силові криві, від підкладки без полімеру і з ним відрізнятимуться (рис. 2).

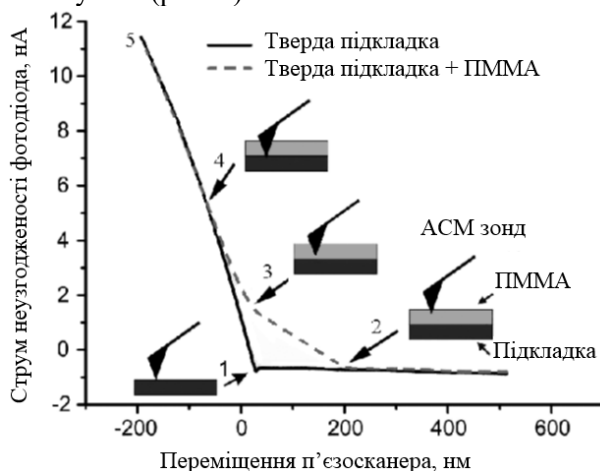


Рисунок 2 – Силові криві, отримані на твердій підкладці (суцільна лінія) та на підкладці з нанесеною плівкою ПММА (пунктирна лінія). Стрілки позначені місця контакту зонда з різними поверхнями

Суцільна лінія показує вид силової кривої, одержаної від твердої підкладки (кремній) без нанесеного шару ПММА. На ній видно перегин у точці 1. Він відображає момент, коли зонд торкається поверхні. Силова крива від підкладки, покритої шаром ПММА, зображена пунктирною лінією. Для товстих плівок ПММА (понад 100 нм) спостерігаються три точки перегину. У точці 2 відбувається торкання зондом поверхні ПММА. Оскільки ПММА має істотно меншу пружність, ніж кремнієва підкладка, то силова крива буде мати інший нахил до осі абсцис, порівняно з чистою підкладкою. На рисунку відповідає ділянці 2-3. У точці 3 зонд починає відчувати сильний опір з боку плівки внаслідок збільшення площі дотику. Тому ділянка 3-4 плавно згинається та змінює свій нахил. Тим не менше, зонд поступово продавлює плівку і нарешті у точці 4 повністю проколоне шар полімеру. У цій точці зонд починає взаємодіяти з поверхнею підкладки, тому на ділянці 4-5 криві збігаються. Оскільки на ділянці 4-5 продовжує діяти та посилюватися сила тиску зонда на поверхню, то зонд починає ковзати вздовж неї, і тим самим буде збільшувати розмір пори. Таким чином, задаючи глибину проникнення зонда в ПММА під час індентування можна змінювати розміри одержуваних пір у полімері. Якби плівка ПММА мала меншу товщину (менше 100 нм), то ділянка 2-3 була б лінійною до перетину з суцільною кривою і ділянки 3-4 не було.

З метою визначення оптимальної СЗЛ методики для отримання масок у плівці ПММА у вигляді однакових пор, досліджувалися чотири методики ідентифікації. Дані методики залежали від технічних можливостей використовуваних приладів. Для порівняння та вибору кращої методики для отримання масок використовувався той самий шаблон.

Розглянемо найпростіший і найшвидший спосіб формування пор у плівці ПММА – індентування з відключеним зворотним зв'язком. В цьому випадку п'єзосканер АСМ повністю стиснутий, і зонд відведений від поверхні зразка на максимальну відстань. Для створення пори в полімері у програмі управління мікроскопом задається відстань, на яку необхідно перемістити зонд у напрямку до поверхні під час індентування (Z_{min} на рисунку 1). Оскільки, відстань, на яку зонд опускається в полімер, завжди в цьому режимі однакова, то даний метод має суттєвий недолік. Він пов'язаний з тим, що відстань зонд-зразок у кожній точці скану має бути постійною. Іншими словами, поверхня зразка має бути вирівняна та зорієнтована паралельно площині сканування. Умову паралельності поверхні зразка та площини сканування важко реалізувати у реальному експерименті.

На рисунку 3, (а) представлено АСМ зображення плівки ПММА з порами, сформованими за першою методикою.

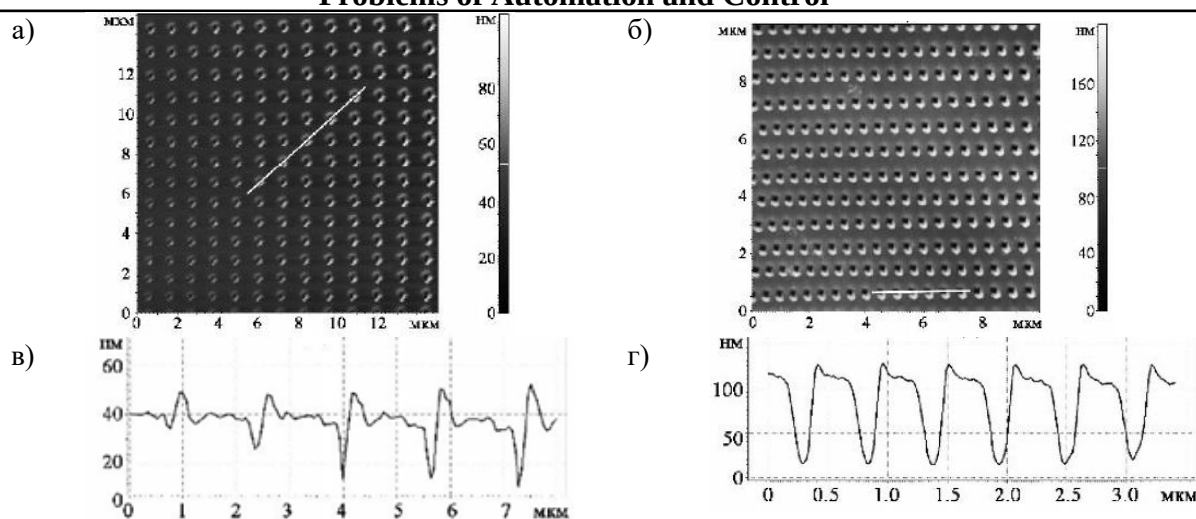


Рисунок 3 – АСМ зображення поверхні плівки ПММА товщиною менше 100 нм після індентування з відключеним (а) та включеним (б) зворотним зв'язком та відповідні профілі поверхні по лініях (в, г). Білими лініями показані місця та напрямки зняття представлених профілів

З рисунка видно, що в нижньому лівому куті отриманого скану контур сформованих пор має не чіткий характер. У той час як у верхньому правому кутку вони мають чіткі обриси та форму. Це пов'язано з тим, що зразок мав нахил у площині сканування. На наведеному профілі поверхні (рис. 3, в) чітко видно збільшення глибини пор при переході зліва направо уздовж білої лінії на рисунку 3, (а). Цей факт говорить про те, що з допомогою такої літографічної маски отримання однакових наночастинок неможливо. Тим не менш, при встановленні зразка паралельно площині сканування, дана методика виготовлення маски є найшвидшою – до 200 пор/хв.

Для того, щоб уникнути згаданого недоліку першого методу індентування СЗЛ, використовується другий метод. У ньому індентування відбувається із включеним зворотним зв'язком. У цьому випадку зонд весь час торкається поверхні та за цим стежить електроніка мікроскопа. Тому оператору необхідно вказати відстань, на яку має опуститися зонд, рівну товщині шару ПММА. Це дозволяє не орієнтувати поверхню зразка відносно площини сканування. У цьому методі зонд опускається з початкового положення (далеко від поверхні) до точки, де буде формуватися пора, і на деякий час перед продавленням зупиняється. Тільки після цієї зупинки проводиться індентування та подальший перехід до наступної точки шаблону. Зупинка відбувається внаслідок «відпрацювання» зворотного зв'язку. Це призводить до збільшення часу індентування порівняно з попереднім способом приблизно 6 разів. Швидкість виготовлення маски знижується до 33 пор/хв. Оскільки глибина проникнення у кожній точці скану однакова, то скрізь (рис. 3, б) виходять абсолютно однакові пори за розмірами та глибиною (рис. 3, г).

Ці вище описані два методи індентування добре підходять як для тонких полімерних плівок, так і для порівняно товстих ($50 < h < 100$ нм) при використанні гострих зондів з малим кутом сходження при вершині.

Виготовлення пор методом індентування в товстій (більше 100 нм) плівці ПММА є затрудненим. У міру руху зонда в глибину ПММА відбувається різке збільшення площі взаємодії поверхні зонда та плівки. Це призводить до збільшення опору з боку плівки. Оскільки жорсткість балки кантилевера має кінцеву величину, вона починає прогинатися. І при опусканні зонда на задану глибину, як у тонких плівках, вже не відбувається проколювання полімеру до підкладки. Для отримання пори необхідно нелінійно змінювати відстань, на яку зонд повинен опуститися в зразок. У цьому випадку на зонд діятиме велика сила, що може призвести до руйнування кінчика зонда, у момент контакту із жорсткою підкладкою. Ця руйнація призведе до збільшення розмірів сусідніх пор маски.

Для вирішення цієї проблеми була проведена модифікація другої методики. Вона полягає у способі управління сканером під час АСС. Це дало можливість одержати ще дві методики індентування.

Третя методика використовувала затримку зонда у нижній точці ідентифікації. Іншими словами, зонд опускався вглиб ПММА і залишався там до 10 секунд. Потім відводився і переходив

до іншої точки. Під час затримки зонд продовжував діяти на ПММА з максимальною силою. Це дає можливість йому ще глибше проникнути у плівку. На рисунку 4, (а) представлено АСМ зображення поверхні плівки ПММА товщиною 160 нм з порами, виготовленими за таким принципом.

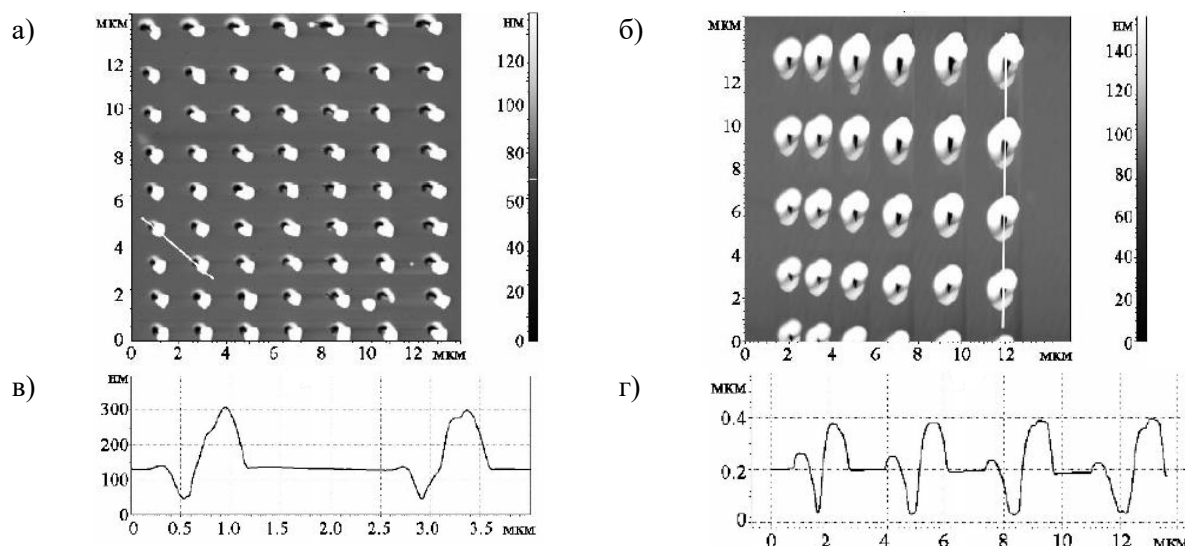


Рисунок 4 – АСМ зображення плівки ПММА з порами, отриманими в режимі індентування з включеним зворотним зв'язком: а) із затримкою зонда в нижній точці; б) багаторазовим індентуванням в одну точку; відповідні профілі з білих ліній (в, г)

Незважаючи на те, що зонд впливав на плівку тільки в одній точці при індентуванні, частина отримуваних пор відрізнялася від круглої форми. Зміна форми пор у вигляді дуги обумовлена кріпом п'єзосканера під час затримки зонда у нижній точці. Кріп – запізнення реакції п'єзокераміки сканера АСМ на зміну величини керуючого електричного поля. Витягнута форма дуги по осі Х обумовлена нелінійністю п'єзосканера. Вона обумовлена порядком переходу від точки до точки за шаблоном, що використовується при індентуванні. Цей перехід здійснюється зліва направо та знизу вгору відносно наведеного рисунка. Даний ефект позначається і на утворенні бортиків заввишки 150 – 250 нм у нижній правій частині пори (рис. 4, а, в) – зонд тягне перед собою частину полімеру. Тому дана методика не підходить для виготовлення однакових пор.

Четверта методика виготовлення пор у плівці ПММА полягає у використанні багаторазового впливу АСМ зонда в одну точку, як при забиванні палі в ґрунт. Для виготовлення однієї пори зонд декілька разів піднімався і опускався в ту саму точку використовуваного шаблону, і тільки потім переходив до наступної. У цьому випадку при індентуванні товстої плівки ПММА ймовірність руйнування кінчика зонда вже не така висока. Це обумовлено тим, що при повторному опусканні зонда в цю точку товщина ПММА буде вже іншою і силу дії зонда на полімер можна поставити значно меншу, ніж у стандартному варіанті. З метою вивчення впливу кратності взаємодії в кожній точці на форму одержуваної пори, на поверхні зразка були сформовані ряди з пор після 5-ти кратної (крайня ліва лінія), 10, 15, 20, 25 та 30-ти кратної (крайня права лінія) взаємодії з тією ж самою силою (рис. 4, б). З отриманого АСМ зображення можна помітити, що за однакової кратності впливу відбувається подовження пір при переході від пори до пори знизу вгору (рис. 4, г). Витягнута вздовж вертикальної осі Y форма пор, обумовлена тими ж особливостями використовуваного приладу, що у попередній методиці.

На основі вище викладеного можна зробити висновок, що для формування пор однакового розміру округлої форми на використовуваних приладах необхідно використовувати другу методику – індентування в одну точку із включеним зворотним зв'язком. У цьому випадку накладається обмеження на зонд. Бажано використовувати спеціальні зонди з алмазним кінчиком для уникнення його руйнування. Можливо, використання СЗМ, у яких вирішено проблеми кріпу та нелінійності за рахунок апаратного коригування [6], дозволить використовувати методики три і чотири для створення однакових пор у більш товстих плівках ПММА.

Витягнуті прямокутні частинки добре підходять для дослідження процесів перемагнічування у зовнішньому магнітному полі в різних умовах, чи то температура чи деформація. А довгі одиночні нанодоти на діелектричній підкладці можуть використовуватися для вивчення зміни їх магнітної структури під впливом імпульсу струму високої густини. Тому необхідно вміти виготовляти маски

для таких структур.

Для створення витягнутих прямокутних частинок чи дрітків можна використовувати статичну літографію в режимі растрової або векторної літографії. Недоліки цих методів полягають у тому, що у програмі управління використовується графічний шаблон, який являє собою рисунок-маску у вигляді ліній. Зважаючи на те, що програма повинна однозначно зчитувати закладену на рисунку інформацію, лінії мають бути широкими. Тому вузькі частинки таким способом створювати не вдається. А при використанні векторного режиму літографії ще до всього вище сказаного додається неоднорідність по ширині одержуваних масок (рис. 5).

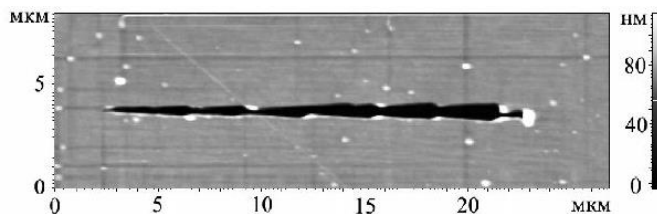


Рисунок 5 – Неоднорідна по ширині канавка у ПММА

Цей недолік пов'язаний з тим, що спочатку зонд сильно вдавлюється в поверхню, щоб проткнути полімер, і потім з цією ж силою намагається пересуватися вздовж поверхні у заданому напрямку. Схема роботи у такому режимі представлено на рисунку 6. Під час руху вздовж поверхні зонд починає збирати перед собою матеріал, що витісняється полімеру. В результаті його накопичується достатньо, щоб чинити опір зонду і той відходить від поверхні. До того ж, цей витіснений матеріал ще й сам виступає в ролі плоского зонда, що поступово призводить до розширення маски. Тому ці методи працюють лише на тонких полімерних плівках.

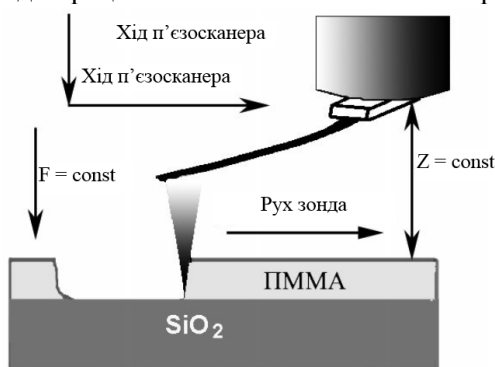


Рисунок 6 – Схема роботи АСМ у контактному режимі для створення маски

Для отримання рівномірних по ширині прямокутних частинок або дрітків у товстій полімерній плівці краще використовувати два інші методи. Це індентування [1, 2]. Для отримання дрітків необхідно зробити канавку. Для цього необхідно щоб відстань між точками взаємодії (крок індентування) була менше діаметра вершини зонда. На рисунку 7, (а) показано АСМ зображення отриманої таким чином маски плівці ПММА.

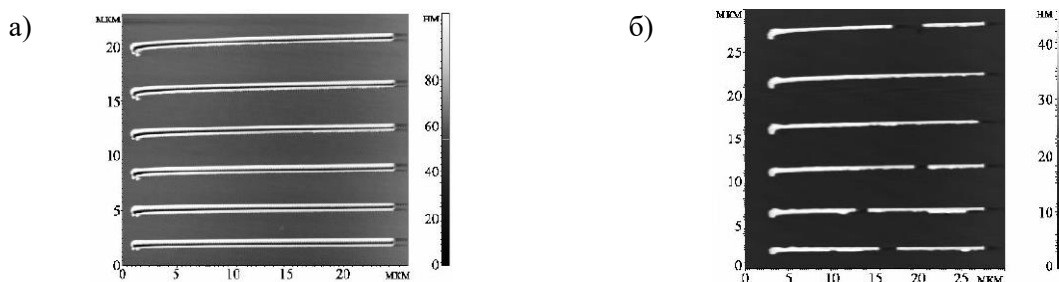


Рисунок 7 – АСМ зображення літографічної маски (а), сформованої індентуванням із включенням зворотним зв'язком та нікелевих дрітків (б), отриманих за допомогою цієї маски

При цьому використовувався стандартний кремнієвий зонд. Напрямок формування канавок проводився зліва направо. Можна помітити, що кожна смужка на самому початку (ліворуч)

згинається. Це пов'язано з кріпом п'єзосканера (рис. 7, а). Ширина смужок обумовлена радіусом закруглення зонда, кутом при його вершині та силою тиску на поверхню. За допомогою стандартного кремнієвого зонда вдалося отримати канавки у плівці ПММА шириною 470 нм. Схема роботи мікроскопа у цьому режимі представлена на рисунку 1.

Для того щоб переконатися у якості маски, на її поверхню було напилено плівку нікелю. Після хімічного розчинення ПММА (метод «вибухової» літографії) на поверхні залишилися нанодроти (рис. 7, б). З наведеного рисунка видно, що форма отриманих дріотів повністю відповідає виготовленій масці. Крім того, є розірвані дроти. Це пов'язано з тим, що при індентуванні полімер може бути не до кінця витіснений з формуючої канавки через крок індентування. При подальшому напилюванні нікель потрапляє не на підкладку, а на ці залишки ПММА. Наступна хімічна обробка призводить до видалення таких ділянок дріотів разом із розчиненим полімером. Ширина сформованих дріотів відповідала ширині маски і становила 470 нм.

Другим методом формування маски для виготовлення дріотів, або витягнутих прямокутних частинок, є методика багаторазового сканування. У цьому методі модифікація полімеру проводиться скануванням однієї і тієї ж області в контактному режимі з включеним зворотним зв'язком. Для модифікації полімеру достатньо встановити силу взаємодії зонда зі зразком трохи вище, ніж при роботі у звичайному скануванні у контактному режимі. У цьому випадку полімер поступово, крок за кроком видаляється з місця сканування зонда. Витісненого зондом матеріалу недостатньо, щоб чинити йому опір і жодних артефактів, як у режимі векторної літографії, не спостерігається. Розміри маски залежать у першу чергу від області сканування, яку задає оператор. Наприклад, для формування маски, що використовується для створення прямокутної частинки, використовувалася площа сканування рівна за розмірами одного з 8 заглиблень, представлених на рисунку 8, (а). Для отримання нанодріотів на зразок із сформованою маскою напилюється металева плівка. Як і завжди, товщина напилюваного матеріалу повинна бути меншою за товщину ПММА при використанні «вибухової» літографії [3]. За допомогою отриманої маски (рис. 8, а) були сформовані короткі нанодроти кобальту шириною від 200 до 270 нм та довжиною 2 мкм (рис. 8, б). Магнітна структура отриманих дріотів мала характерний таких зразків вигляд (рис. 8, в).

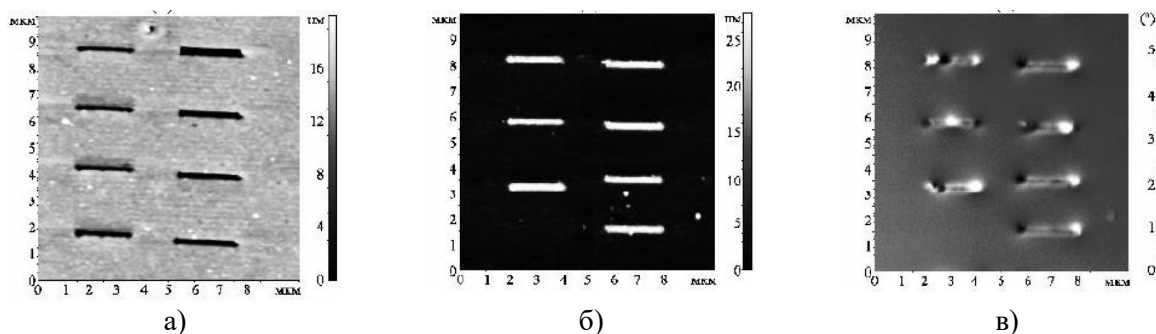


Рисунок 8 – АСМ зображення літографічної маски у плівці ПММА (а), отриманої багаторазовим скануванням однієї області; АСМ зображення нанодріотів кобальту (б), сформованими по масці (а), та МСМ зображення останніх (в)

Використання стандартних кремнієвих зондів не дозволяє сформувати в полімерній товстій плівці літографічну маску шириною менше 470 нм. Це пов'язано з великим кутом сходження при вершині таких зондів. Для того, щоб вдалося виготовити маску меншого розміру, необхідно використовувати спеціальний зонд D300. Час руйнування кінчика такого зонда набагато більший у порівнянні зі звичайним кремнієвим зондом [3, 7]. Маска в ПММА, отримана за допомогою такого зонда представлена на рисунку 9, (а). Для порівняння двох вище описаних методик отримання довгих нанодріотів, на одній ділянці полімеру з їх допомогою були виготовлені маски. Нижні чотири канавки сформовані індентуванням. Верхні три – багаторазовим скануванням однієї вузької області.

Можна помітити, що з використанням індентування спостерігаються чіткі гладкі канавки з полімером по краях лінії у вигляді бортиків заввишки приблизно 30 нм. Однак необхідно пам'ятати про недолік, описаний вище (рис. 7, а, б). При методі рядкового сканування, канавки, що формуються, більш прямі, але містять велику кількість матеріалу, витісненого з обох боків. У деяких місцях витіснений полімер навіть закриває сформовані канавки, що може призвести до неякісного одержання нанодіоту.

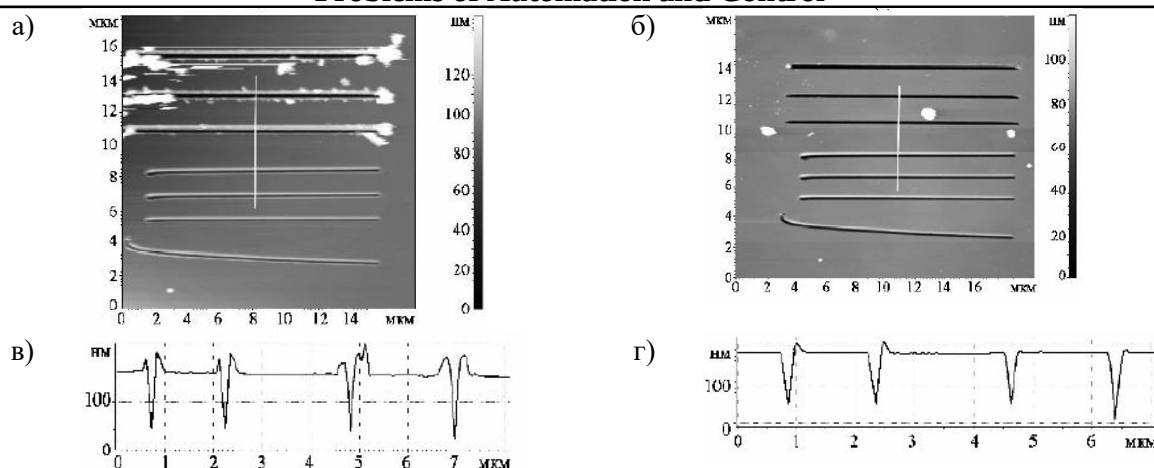


Рисунок 9 – АСМ зображення маски у плівці ПММА, виготовленої інденуванням (нижні 4 смужки) та багаторазовим скануванням вздовж однієї лінії (верхні 3 смужки), до (а) та після (б) хімічного травлення, та відповідні профілі поверхні лініями (в, г)

Крім того, через використання алмазного зонда може відбуватися і модифікація самої підкладки. Про це можна припустити з аналізу профілю сформованої маски (рис. 9, в). Одна з канавок має велику глибину, порівняно з іншими. Для видалення зайвого матеріалу на поверхні маски використовувалося хімічне травлення розчином, що містить ізопропіловий спирт та метилізобутилкетон (3:1). Цей розчин застосовується як проявник ПММА при його засвіченні ультрафіолетовим випромінюванням (оптична літографія) або при електронному експонуванні (електронна літографія). Після застосування проявника вдалося практично повністю позбутися зайвого матеріалу на поверхні сформованої маски. АСМ зображення отриманої маски в ПММА після хімічного розчинення представлено на рисунку 9, (б). З наведеного на рисунку 9, (г) профілю поверхні видно, що відбулося вирівнювання поверхні плівки.

До застосування такого проявника в СЗЛ призводить та обставина, що при молекулярній вазі використовуваного ПММА 35000 одиниць утворюються молекулярні ланцюжки довжиною кілька сотень нанометрів. Навіть якщо вони не будуть витягнуті в одному напрямку і скручені, цей ланцюжок все одно буде більше вістря використовуваного зонда. А повільне постстрокове сканування буде виробляти поступове занурення в товщу полімеру і тим самим розривати його ланцюжки. Розірвані ланцюжки мають більшу розчинність, в порівнянні з цілим полімером. Це добре видно на наведеному рисунку 10.

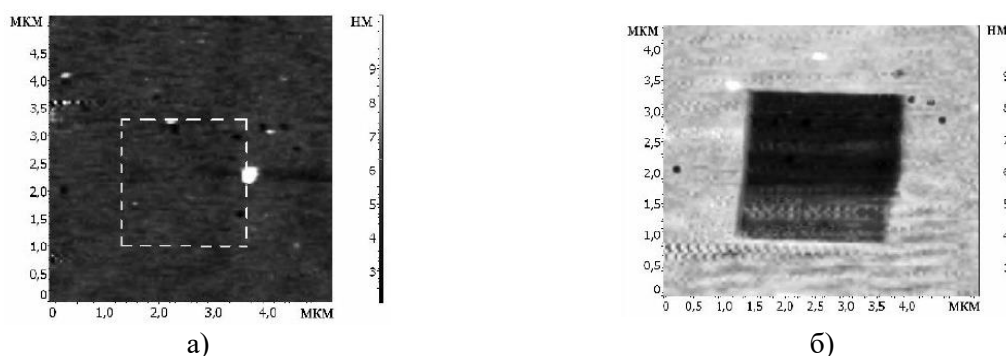


Рисунок 10 – АСМ зображення ділянки поверхні ПММА до використання проявника. Пунктирною лінією позначена ділянка, яка сканувалася у контактному режимі АСМ (а). АСМ зображення тієї ж ділянки поверхні ПММА після застосування проявника (б)

Тут наведено зображення поверхні ПММА, отримане в напівконтактному режимі роботи АСМ, після сканування його центральної частини поверхні в контактному режимі (ділянка показана пунктирною лінією) з малою силою впливу, меншою, ніж під час виготовлення маски (рис. 10, а). А також ця ж ділянка після використання проявника (рис. 10, б). Якщо до використання проявника на поверхні полімеру не було якихось її модифікацій, то після неї можна побачити заглиблення, рівне площі сканування під час перегляду поверхні в контактному режимі АСМ. Таким чином,

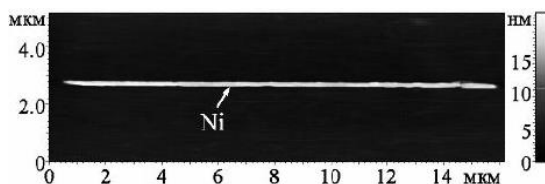
гострий зонд у контакті з поверхнею ПММА модифікував ланцюжки полімеру, і проявник зміг їх розчинити.

Крім того, при використанні в контактному режимі зонда після індентування, коли кінчик кремнієвого зонда вже трохи затупився, такої модифікації поверхні немає. Радіус закруглення зонда більше розмірів ланцюжків полімеру і не розриває їх. Якщо зонд не може модифікувати поверхню, то полімер не протравлюється деякий час (приблизно 40 секунд), а потім відбувається поступове травлення вже всієї плівки в цілому у всіх напрямках. У свою чергу, коли формується маска в полімері, навіть якщо зонд вже затупився, але все ще продавлює полімер, відбувається розчинення залишків полімеру по краях сформованої маски та вирівнюванню останньої. Це призводить до значного покращення якості полімерних масок у СЗЛ.

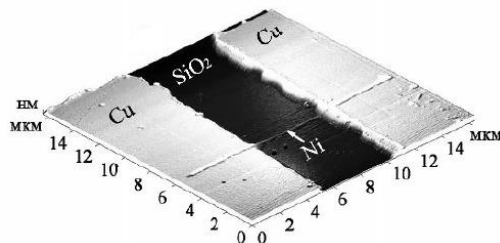
За допомогою алмазного зонда вдалося отримати смуги шириною 270 нм для обох методик виготовлення маски при товщині ПММА понад 100 нм. Це істотно менше, ніж при використанні звичайного кремнієвого зонда (470 нм) [1, 5]. При товщині ПММА менше 100 нм за допомогою алмазного зонда вдалося отримати нанодріт шириною 100 нм [3, 8, 9].

Таким чином, для створення масок для виготовлення нанодротів кращою методикою є построкове сканування однієї області з наступним використанням проявника.

Для дослідження процесів перебудови магнітної структури у нанодротах під дією електричного струму високої густини до отриманих нанодротів необхідно підвести масивні контактні площадки із немагнітного матеріалу [3]. Це було необхідно для того, щоб масивна площадка із магнітного матеріалу не впливала на розподіл намагніченості у дроті. Для цього необхідно було вміти створювати багатошарові структури. Методами СЗЛ таке також можливо. У цьому випадку формування маски та самої структури відбуватиметься у декілька етапів. На першому етапі за допомогою СЗЛ формується маска для отримання нанодроту. Після цього на неї наноситься потрібний матеріал. Потім методом «вибухової літографії» зайвий матеріал та ПММА видаляються. На наступному етапі на вже сформовану структуру наноситься новий шар полімеру. У ньому за допомогою СЗЛ знову формується маска та наноситься наступний матеріал. Етапи повторюються доти, доки не буде одержана структура. Необхідно пам'ятати, що при формуванні другого та наступних шарів потрібно підбирати силу впливу на поверхню таку, при якій не будуть руйнуватися нижче лежачі сформовані шари структури. Подібним чином був створений нікелевий дріт між мідними контактами (рис. 11, а, б). Розміри отриманого дроту склали 16 мкм завдовжки, 255 нм завширшки і 19 нм заввишки.



а)



б)

Рисунок 11 – АСМ зображення Ni дроту: а) окремо розташований дріт, у проекції «вигляд зверху»; б) з нанесеними на нього мідними контактами, у «тривимірній» проекції

Таким чином, за допомогою СЗЛ можна отримувати багатошарові структури. Внаслідок того, що створення структури відбувається поетапно, суттєво зростає час виготовлення таких зразків. До переваг можна віднести можливість контролювати якість одержуваних масок та структур на кожному етапі.

Висновки. В результаті досліджень було встановлено, що методика точкового індентування з включеним зворотним зв'язком є найбільш оптимальною при створенні літографічної маски для формування круглих наночастинок при товщині плівки ПММА менше 100 нм з використанням спеціальних алмазних зондів. При більш товстих плівках полімеру форма одержуваної маски спотворюється, внаслідок конструктивних особливостей приладу. При створенні маски для отримання прямокутних частинок або нанодротів найбільш оптимальною є методика багаторазового сканування однієї області у контактному режимі. У даному методі важливим є те, що немає сильного тиску з боку зонда. В цьому випадку вістря зонда служить набагато довше, ніж при стандартному методі СЗЛ, як тонких, так товстих полімерних плівок. Якість літографічних масок можна значно підвищити, якщо після формування маски додатково використовувати хімічне

травлення для видалення зайвого ПММА. Топографія та структура намагніченості створених структур контролювалася методами атомно-силової та магнітно-силової мікроскопії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зайцев Р. В., Кіріченко М. В., Зайцева Л. В. Методи дослідження структури тонких плівок: підручник. Харків: ФОП Бровін О. В., 2021. 320 с.
2. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Шибковський І. А. Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2020. Вип. 17. С. 33–41.
3. Загородній В. В. Локальні методи досліджень: підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 323 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28054/1/Lokalni_metody_doslidzhen.pdf (дата звернення 10.11.2023).
4. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Тимошук А. А., Черняк С. О. До метрологічного забезпечення вимірювання за допомогою мікроскопа-нанотвердоміра «НаноСкан-3D». *«Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»*: матер. XXII-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 7-10 верес. 2021 р. Київ, 2021. С. 139–141.
5. Денисюк В. Ю., Яблонський В. В., Черняк С. О. Аналіз методик скануючої зондової літографії для отримання масок в полімерних плівках поліметилметакрилату. *«Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, технології, транспорт»*: зб. наук. доп. Міжнар. конф., м. Луцьк, 16-18 трав. 2023 р. Луцьк, 2023. С. 118–121.
6. Денисюк В. Ю. Система автоматичного регулювання прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2021. Вип. 19. С. 44–48.
7. Обробка та аналіз зображень у скануючій зондовій мікроскопії: ключові аспекти та рецепти. URL: <https://www.ntmdt-si.com/resources/webinars/image-processing-and-analysis-in-scanning-probe-microscopy> (дата звернення 10.11.2023).
8. Interface design for NT-MDT scanning probe microscope control software. Multidisciplinary Design Studio | Graphic Design Firm | Art. Lebedev Studio. URL: <https://www.artlebedev.com/nt-mdt/nova/> (дата звернення 10.11.2023).
9. ACADEMIA – NT-MDT. NT-MDT. URL: <https://ntmdt.nl/home/products/ntegra-academia/> (дата звернення 10.11.2023).

УДК 535: 535.2

Ю.С. Лапченко, М.В. Карманський

Луцький національний технічний університет
y.lapchenko@lntu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ТА ХВИЛЕПРОВІДНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МІКРОКАНАЛІВ

В роботі було досліджено оптичні властивості та механізм формування мікроканалів у плавленому кварці при впливі фемтосекундними безселевими пучками, отриманими при аксіонному фокусуванні лазерного випромінювання. Для дослідження зміни показника заломлення у матеріалі каналів застосовувалася прецизійна оптична інтерферометрія. Було виявлено, що неоднорідні канали, сформовані при багатоімпульсному впливі на те саме місце, практично не володіють хвилепровідними властивостями. Тоді як однорідні мікроканали, створені при фокусуванні окремих лазерних імпульсів, добре утримують оптичне випромінювання. Як виявилось, ефективність проходження випромінювання через хвилепровідні мікроканали сильно залежить від напрямку поляризації поля, що падає. Коефіцієнт проходження максимальний, коли поляризація випромінювання HeNe лазера паралельна тріщиноподібної структури каналу.

Ключові слова: випромінювання, мікроканал, модулятор, лазерний імпульс, світловод, фемтосекундне випромінювання.

Y. Lapchenko M. Karmanskyi. Study of changes in refractive index and waveguiding properties of micro-channels. The paper investigated the optical properties and the mechanism of formation of microchannels in fused quartz under the influence of femtosecond free-flowing beams obtained by axicon focusing of laser radiation. Precision optical interferometry was used to study the change in refractive index in the channel material. It was found that non-homogeneous channels formed by multi-pulse impact on the same place have almost no wave-conducting properties. Whereas homogeneous microchannels created by focusing individual laser pulses retain optical radiation well. As it turned out, the efficiency of radiation passing through waveguide microchannels strongly depends on the direction of polarization of the incident field. The transmission coefficient is maximal when the polarization of the HeNe laser radiation is parallel to the crack-like structure of the channel.

Key words: radiation, micro channel, modulator, laser pulse, light guide, femtosecond radiation.

Постановка проблеми. Важливою проблемою фемтосекундного лазерного мікроструктурування є вивчення фізичних механізмів модифікації матеріалу. Узагальнивши результати великої кількості робіт, присвячених даній тематиці, структурні зміни, що спостерігаються, в цілому можуть бути розділені на три типи: плавні ізотропні зміни показника заломлення [1], анізотропні зміни показника заломлення (двопроменеломлення), які можуть бути, зокрема, пов'язані з утворенням періодичних наноструктур [2], та утворення порожнин за рахунок мікрровибухів [3]. Режими модифікації та результуючі морфологічні зміни залежать не тільки від багатьох параметрів опромінення (енергія, тривалість імпульсу, частота повторень, довжина хвилі, поляризація та ін.), а й від властивостей матеріалу (ширина забороненої зони, теплопровідність та ін.). Для плавленого кварцу, який є найпоширенішим матеріалом для лазерного мікроструктурування, всі описані вище три типи модифікацій можуть спостерігатися при зміні енергії лазерного випромінювання.

Так, при багатоімпульсному впливі і невеликих енергіях, трохи перевершують поріг модифікації (енергія в лазерному імпульсі 100 нДж, числова апертура 0,6, довжина хвилі 800 нм, тривалість імпульсу 100 фс) спостерігалася ізотропна позитивна зміна в наслідок швидкого охолодження розплавленого скла у фокальній ділянці [4].

При великих енергіях (150-500 нДж) були виявлені анізотропні зміни показника заломлення (двопроменювання). У роботі [5] стверджується, що двопроменезаломлення пов'язане з формуванням періодичних наноструктур, що утворилися в результаті інтерференції лазерного поля та збудженої плазмової хвилі. Однак, у роботі [6] автори вважають, що неоднорідний пробій діелектрика призводить до формування нанорозмірної плазми, що призводить до зростання та самоорганізації нанорешіток. Таким чином, механізм утворення періодичних наноструктур у плавленому кварці залишається під питанням. При ще більших енергіях (> 500 нДж) у фокальній області в матеріалі виникають порожні утворення, освіту яких пов'язують із збудженням сильної ударної хвилі [132].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У переважній більшості робіт використовувалося фокусування лазерного випромінювання мікроскопічними об'єктивами у глибині матеріалу з одночасним переміщенням зразка. Ця методика обмежується застосуванням багатоімпульсного впливу, що суттєво обмежує швидкість модифікації матеріалу зразка. Наприклад, для лазерних систем з кілогерцевою частотою проходження імпульсів характерна швидкість модифікації зазвичай становить ~10 мкм/с [4].

Альтернативним фокусуванням лазерного випромінювання сферичною оптикою є застосування для фокусування випромінювання аксіонних (конічних) лінз, що дозволяє формувати в об'ємі зразка протяжну область модифікованого матеріалу довжиною до декількох сантиметрів з поперечним розміром в кілька мікрон. Фокусування лазерних імпульсів фемтосекундної тривалості за допомогою аксіону (або дифракційного аксіону) та хімічне травлення були використані у роботах [1, 2] для створення мікромодифікацій плавленого кварцу. Однак у зазначених роботах канали створювалися тільки в режимі багаторазового впливу на ту саму область зразка при накопиченні великого числа лазерних імпульсів з відносно невеликою енергією (<1 мДж).

Одноімпульсний вплив при використанні безселевих пучків, що формуються за допомогою просторового модулятора світла, вивчалася в роботі [3] для створення коротких наноканалів (порожнистих каналів) довжиною до 43 мкм при енергії імпульсу до 2 мкДж.

Мета роботи. Дослідити оптичні властивості та механізм формування мікроканалів у плавленому кварці при впливі фемтосекундними безселевими пучками, отриманими при аксіонному фокусуванні лазерного випромінювання.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження зміни показника заломлення у матеріалі каналів застосовувалася прецизійна оптична інтерферометрія. На рисунку 1 зображено експериментальну схему. Лазерне випромінювання з довжиною хвилі 400 нм проходить через мікроканали, збирається 40х мікроскопічним об'єктивом і прямує на інтерферометр Майкельсона, що складається з двох дзеркал, клину та CCD камери. Збільшення такої оптичної системи становило $\times 95$. Використання клина як дільник пучка обумовлено необхідністю просторового поділу двох відбитих від граней дільника пучків, щоб не спостерігати подвійне зображення. Зазор між об'єктивом і образом заповнювався імерсійним маслом, щоб уникнути ефектів, пов'язаних з інтерференцією Perezображених проміжків у зазорі і підвищити числову апертуру об'єктива.

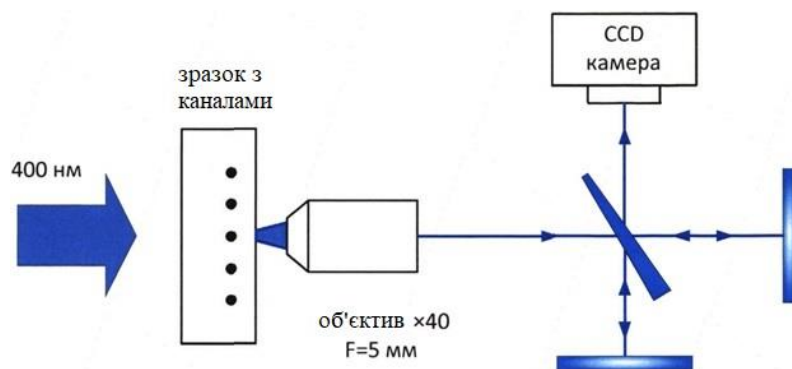


Рисунок 1 – Експериментальна схема для дослідження зміни показника заломлення каналів

Характерні двовимірні розподіли набігу фази при проходженні оптичного випромінювання через неоднорідний канал, що складається з мікроскопічних "бульбашок", і однорідний канал зображені на рисунку 2. Неоднорідний канал сформовано 10 лазерними імпульсами із середньою енергією 0,3 мДж, однорідний канал - окремим імпульсом з енергією 6,2 мДж. Аналіз даних, наведених на рисунку 2, показує, що «бульбашки» неоднорідних каналів мають негативну зміну показника заломлення (негативний набіг фази). Зміна показника заломлення однорідних мікроканалів негативно на осі, а в її області позитивно (позитивний набіг фази).

За отриманими розподілами набігу фази можна було розрахувати розподіл зміни показника заломлення однорідних мікроканалів, припускаючи аксіальну симетрію і застосовуючи перетворення Абеля. Однак, зображення однорідних мікроканалів з торців після полірування показують, що мікроканали не мають аксіальної симетрії. Тому застосування перетворення Абеля для обчислення зміни показника заломлення по розподілу фазового зсуву дасть невірний результат.

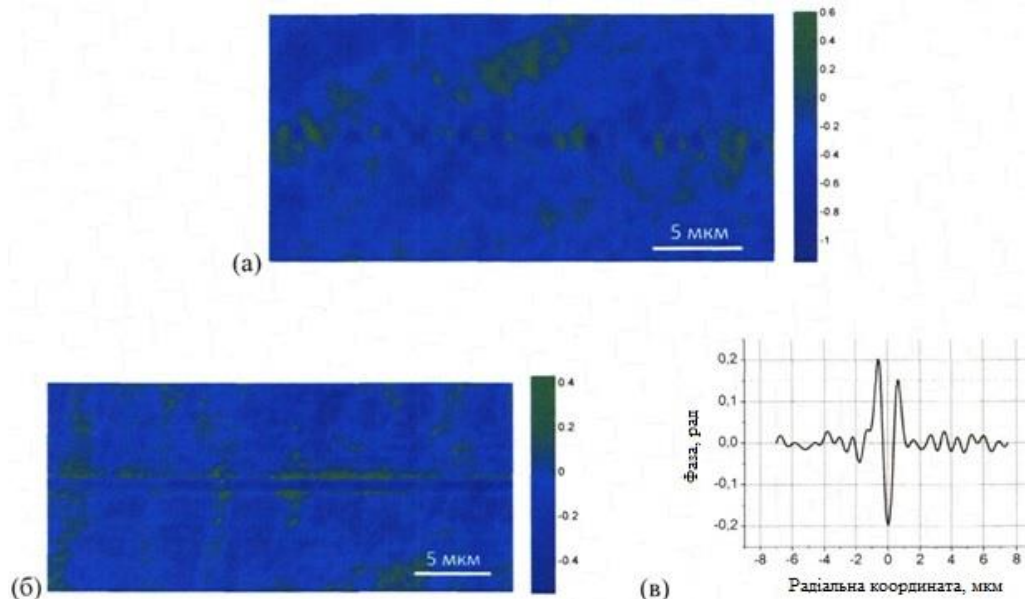


Рисунок 2 – Двовимірні розподіли набігу фази при проходженні оптичного випромінювання через (а) неоднорідний та (б) однорідний канали, (в) Радіальний розподіл набігу фази через однорідний канал, зображений на малюнку (а).

При підсвічуванні зразка колімованим оптичним пучком світла вздовж однорідних мікроканалів на вихідному торці зразка в оптичному мікроскопі спостерігалися яскраві області випромінювання, розташовані з обох боків від тріщиноподібних структур каналів (рисунок 3). Наявність таких яскравих областей свідчить про те, що однорідні мікроканали мають хвилезнавчі властивості. Складна структура областей, що світяться, говорить про складну структуру розподілу показника заломлення в мікроканалі.

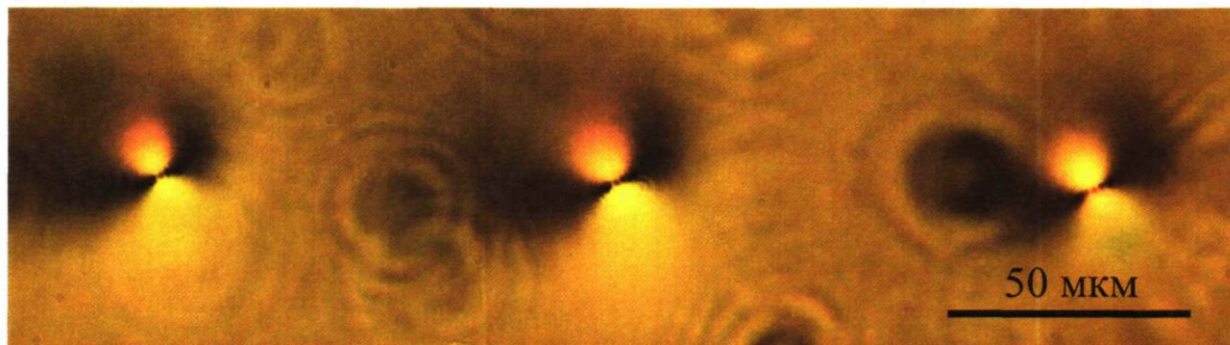


Рисунок 3 – Вид однорідних мікроканалів з торця в оптичному мікроскопі при підсвічуванні колімованим пучком білого світла

Для детальнішого дослідження хвилепровідних властивостей мікроканалів використовувалася схема, зображена на рисунку 4. Лінійно-поляризоване випромінювання HeNe лазера з довжиною хвилі 633 нм фокусувалося об'єктивом (фокусна відстань 58 мм) на вхід мікроканалу. Пройшло випромінювання з виходу мікрокапіляра переносилося $\times 40$ об'єктивом (фокусна відстань 5 мм) на цифрову CCD камеру SDU-205 для зняття просторового розподілу інтенсивності та вимірювання коефіцієнта лазерного проходження випромінювання. Збільшення оптичної системи становило $\times 23$. Для повороту лінійної поляризації випромінювання HeNe лазера використовувалася напівхвильова фазова пластинка.

Діафрагма змінного діаметра, вміщена в пучок, дозволяла оптимізувати проходження лазерного випромінювання за рахунок зміни розміру лазерного пучка у фокусі.

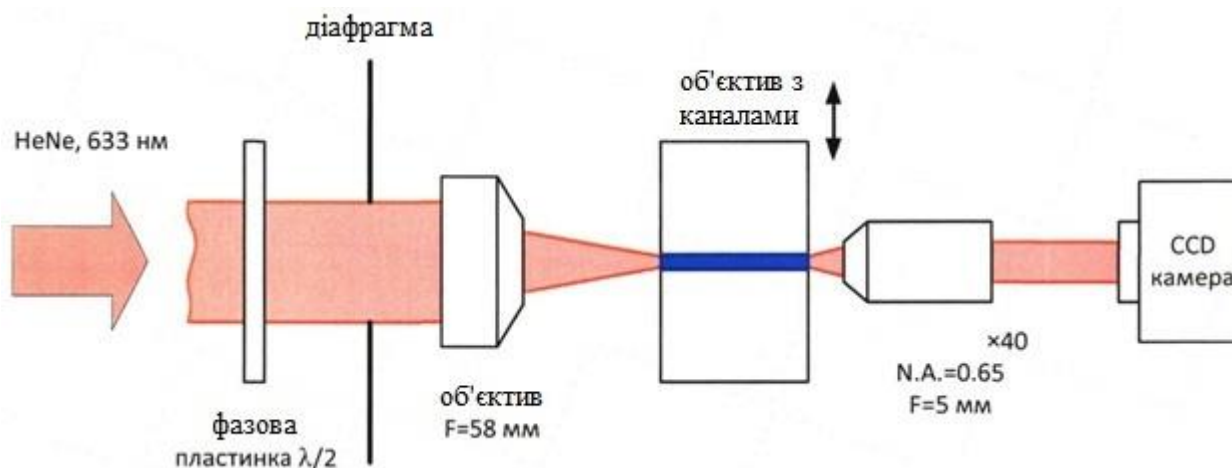


Рисунок 4 – Експериментальна схема дослідження хвилепровідних властивостей мікроканалів.

Було виявлено, що неоднорідні канали, сформовані при багатоімпульсному впливі на те саме місце, практично не володіють хвилепровідними властивостями. Тоді як однорідні мікроканали, створені при фокусуванні окремих лазерних імпульсів, добре утримують оптичне випромінювання. На рисунку 5а показано характерне розподілення інтенсивності випромінювання, що пройшло через однорідний канал. Цей розподіл являє собою дві яскраві області, розташовані з боків від тріщиноподібної структури (рис. 5б). За допомогою відповідного фокусування лазерного випромінювання на вхід мікроканалів, кожна з цих областей може бути порушена незалежно.

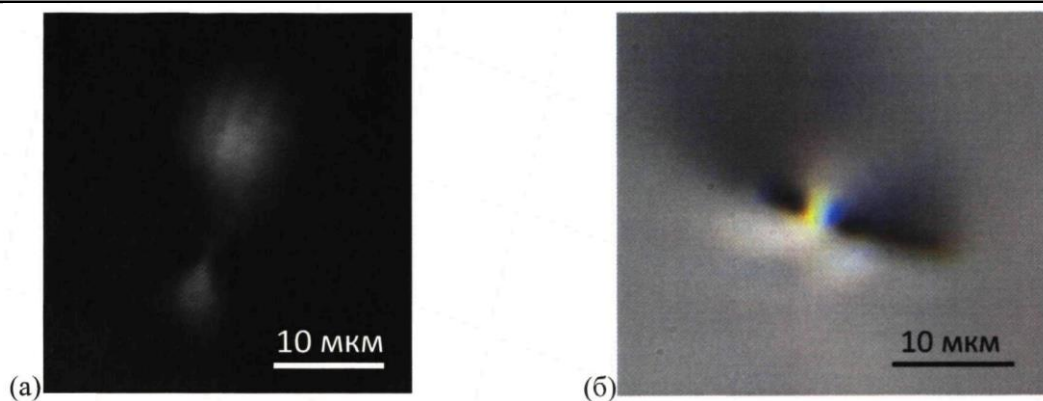


Рисунок 5 – (а) Характерний розподіл інтенсивності випромінювання, що пройшло через однорідний мікроканал, (б) Зображення того ж мікроканалу з торця в оптичному мікроскопі.

Як виявилось, ефективність проходження випромінювання через хвилепровідні мікроканали сильно залежить від напрямку поляризації поля, що падає. Коефіцієнт проходження максимальний, коли поляризація випромінювання HeNe лазера паралельна тріщиноподібної структури каналу. Для ортогональної поляризації проходження практично відсутнє. Залежність інтенсивності пройшовшого через канал випромінювання від кута повороту фазової пластинки зображено на рисунку 6а. Ця залежність наочно демонструє, що сформовані однорідні канали мають анізотропний розподіл зміни показника заломлення. Максимальний коефіцієнт проходження через мікроканал довжиною 15 мм при раціональному узгодженні мод досягав 27%, що відповідає втрат менше 0.3 дБ/см (сюди включені втрати, пов'язані з узгодженням моди при її збудженні).

Відповідний розподіл інтенсивності випромінювання на виході каналу зображено на рисунку 6б, який являє собою одну яскраву область. Це з тим, що найкраще узгодження мод, як наслідок, найбільший коефіцієнт проходження через мікроканал, досягається у разі порушення однієї області.

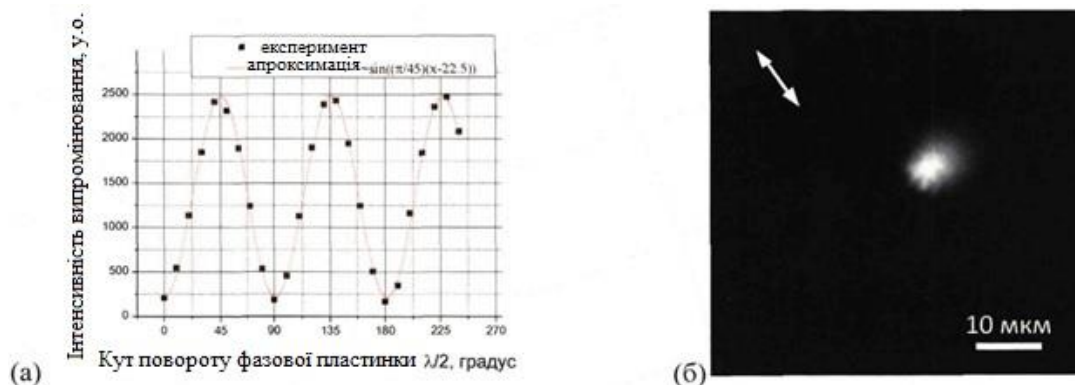


Рисунок 6 – (а) Залежність інтенсивності випромінювання на виході каналу від кута повороту фазової пластинки $\lambda/2$; (б) Розподіл інтенсивності випромінювання на виході однорідного мікроканалу довжиною 15 мм з коефіцієнтом проходження 27%. Стрілка вказує напрямок поляризації падаючого випромінювання HeNe лазера.

Оцінку для величини позитивної зміни показника заломлення мікроканалів Δn можна отримати з умови утримання променів першої моди, що поширюється, в круглому волоконному світловоді зі ступінчастим профілем показника заломлення:

$$\Delta n = \frac{1}{2n} \left(\frac{2.4}{ak_0} \right)^2, \quad (1)$$

де a – радіус хвилеводу, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ хвильове число у вакуумі випромінювання із довжиною хвилі λ ,

$n + \Delta n$ та n – показники заломлення серцевини та оболонки світловоду, відповідно. Тут передбачається, що $\Delta n \ll n$. Характерний масштаб області зміни показника заломлення a може бути

оцінений з розподілу випромінювання на виході з мікроканалу, він становить $a \approx 5$ мкм (рисунок 4.18). Тоді з (1) отримуємо наступну оцінку для позитивної зміни показника заломлення $\Delta n \approx 8 \cdot 10^{-4}$.

За допомогою рівнянь Максвелла можна побудувати двовірний просторовий розподіл зміни показника заломлення речовини щодо розподілу інтенсивності випромінювання, що пройшов через мікроканал. Для цього, використовуючи рівняння Максвелла, запишемо хвильове скалярне рівняння для поширення електромагнітного поля в середовищі. Підставляючи в це рівняння вираз для електричного поля як $E(x, y)e^{i\omega t - i\beta z}$, β – хвильове число вздовж напрямку осі Z (рисунок 7), отримаємо рівняння для амплітуди електричного поля $E(x, y)$:

$$\nabla_{\perp}^2 E + [k_0^2 n^2(x, y) - \beta^2] E = 0, \quad (2)$$

k_0 – хвильове число у вакуумі, $n(x, y)$ – показник заломлення середовища

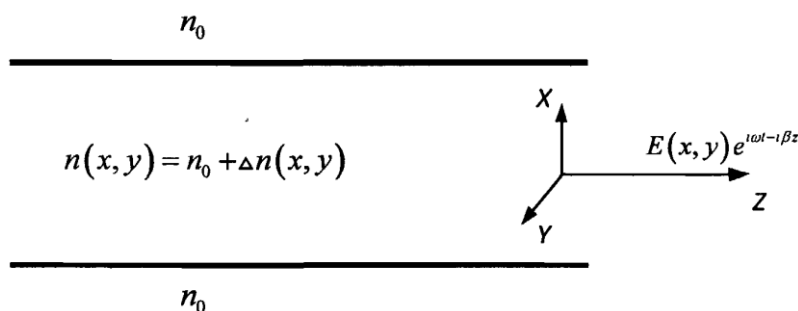


Рисунок 7 – Модель поширення випромінювання серед з обуреним показником заломлення

Рівняння (2) призводить до наступного виразу показника заломлення:

$$n^2(x, y) = \frac{\beta^2}{k_0^2} - \frac{1}{k_0^2} \cdot \frac{\nabla_{\perp}^2 E}{E}. \quad (3)$$

Будемо припускати, що зміна показника заломлення $\Delta n(x, y)$ в середовищі мало порівняно з необуреним значенням n_0 : $\Delta n(x, y) \ll n_0$, $n^2 \approx n_0^2 + 2n_0 \Delta n(x, y)$ і хвильове число поширюється в хвильоводі випромінювання приблизно дорівнює хвильовому числу в середовищі $\beta \approx k_0 n_0$. Тоді зміна показника заломлення пов'язана з розподілом амплітуди електричного поля таким чином:

$$\Delta n(x, y) \approx -\frac{1}{2k_0^2 n_0} \cdot \frac{\nabla_{\perp}^2 E}{E}. \quad (4)$$

За допомогою виразу (4) було розраховано зміну показника заломлення речовини мікроканалу $\Delta n(x, y)$ за виміряним розподілом інтенсивності пройшовшого випромінювання $I(x, y)$ в припущенні, що $E(x, y) \propto \sqrt{I(x, y)}$. На рисунку 8а наведено взятє за основу розподіл інтенсивності випромінювання $I(x, y)$, що пройшло, через канал довжиною 15 мм, а на рисунку 8б – розрахована зміна показника заломлення

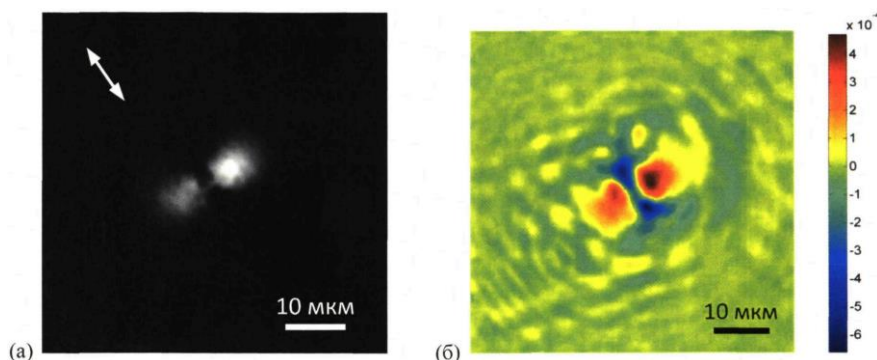


Рисунок 8 – (а) Розподіл інтенсивності випромінювання з виходу мікроканалу. Стрілка вказує напрямок поляризації збуджуючого випромінювання HeNe лазера, (б) Чисельно розраховане зміна показника заломлення в каналі для розподілу інтенсивності малюнку (а).

З рисунку 8б видно, що тріщиноподібна структура в центрі каналів має негативну зміну показника заломлення речовини мікро інтерферометрії.

Анізотропія зміни коефіцієнта заломлення мікроканалів підтверджується також при приміщенні зразків між двома схрещеними під прямим кутом поляризаторами. На рисунку 9 наведено характерне зображення мікроканалу в схрещених поляризаторах, коли поляризація падаючого випромінювання спрямована під деяким кутом до осі каналу. З цього малюнка видно, що мікроканал деполаризує оптичне випромінювання, що пройшло через нього. Якщо поляризація падаючого випромінювання спрямована вздовж осі каналу або перпендикулярно до неї, то деполаризація не спостерігається.



Рисунок 9 – Характерне зображення мікроканалу у схрещених поляризаторах. Стрілка вказує напрямок поляризації падаючого випромінювання.

Як зазначалося, формування мікроканалів супроводжувалося утворенням плазми у фокальній області аксікону. Утворення плазми веде до додаткового поглинання фемтосекундного випромінювання електронами та нагрівання речовини. У літературі зазвичай розглядаються три можливі механізми іонізації: багатофотонна, тунельна та лавинна іонізації. У експериментах характерне значення інтенсивності у фокусі аксікону становило величину близько 10^{15} Вт/см² (ця оцінка була зроблена для випадку фокусування випромінювання у вакуум за допомогою виразу (4) з наступними параметрами лазерного випромінювання: тривалість імпульсу 60 фс, енергія в імпульсі 2 діаметр падаючого на аксикон пучка 2 см). За таких інтенсивностей у плавленому кварці тунельна іонізація домінує над багатофотонною.

Оцінімо температуру та тиск нагрітого матеріалу у фокальній ділянці аксікону при впливі одиночним лазерним імпульсом з енергією 2 мДж. Вважаючи, що нагрітий матеріал є ідеальним газом, поглинена енергія близько 20% - 0,4 мДж, довжина каналу 1 см, діаметр каналу 2 мкм, отримуємо, що температура матеріалу досягає 8×10^3 К, а тиск - 2 ГПа. Виникає тиск перевищує поріг міцності плавленого кварцу на стиск - 1 ГПа і розтяг - 50 МПа. Тому наявність деякої азимутальної асиметрії в поперечному розподілі інтенсивності пучка, що падає на аксикон, і, відповідно, результуючого тиску може, вочевидь, призводити до виникнення несиметричного руйнування матеріалу в околиці мікроканалу - появи тріщиноподібної структури. В результаті в центрі каналу утворюється область з негативною зміною показника заломлення з різними просторовими масштабами вздовж і впоперек тріщини. Поява мікротріщини супроводжується утворенням вздовж її поверхні областей підвищеної щільності з залишковою напругою, орієнтованою впоперек тріщини, тобто має анізотропію. Области підвищеної щільності відповідають позитивним змінам показника заломлення, вздовж яких можливе поширення оптичного випромінювання (рис. 8).

Анізотропія залишкових напруг в області мікроканалу призводитиме до анізотропних хвилеводних властивостей. Оцінімо зміну коефіцієнта заломлення, індуковане анізотропією залишкових напруг. У наближенні плоских деформацій різниця зміни показника заломлення Δn речовини вздовж і впоперек спрямування залишкових напруг (поперек і вздовж мікротріщини) може бути оцінена як:

$$\Delta n = C \sigma, \quad (4.5)$$

де C – константа Брюстера, σ – величина напруги.

Висновки. Для плавленого кварцу $C=3,6 \times 10^{-12}$ Па⁻¹. Для оцінки величину залишкової напруги можна покласти рівною порогові міцності плавленого кварцу на розрив $\sigma=50$ МПа. Тоді з виразу (5) отримуємо, що величина Δn становить близько 2×10^{-4} , причому зміна коефіцієнта заломлення поперек напрямку залишкових напруг (вздовж тріщини) перевищує зміну коефіцієнта заломлення вздовж напрямку залишкових напруг. будуть набагато більш виражені для поляризації поля,

орієнтованої вздовж мікротріщини, а ортогональна поляризація може зовсім не каналуватися, як і спостерігається в експерименті (рис. 6).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. George Amoako. Femtosecond Laser Structuring of Materials : A Review. - Опубліковано Канадським центром науки і освіти. - 03.04.2019. – 11 с.
2. Study of structure and morphology of surface layers formed on TRIP steel by the femtosecond laser treatment / Duriagina, Z.A., Tepla, T.L., Kulyk, V.V., Kosarevych, R.Y., Vira, V.V., Semeniuk, O.A. // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. - 2019. - V. 93 (1-2). - P. 5-19.
3. Gnilitzkyi, Iaroslav, et al. "Cell and tissue response to nanotextured Ti6Al4V and Zr implants using high-speed femtosecond laser-induced periodic surface structures." *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 21 (2019): 102036.
4. Лазерні, оптико-електронні прилади та системи. Ч. 3. Фемтосекундні лазери для інформаційно-вимірювальних технологій / О. С. Гнатенко ; Харків : Факт, 2023 - 130 с. ISBN 978-966-617-8072-88-9.
5. Bonse, Jörn, and Stephan Gräf. "Maxwell Meets Marangoni—A Review of Theories on Laser-Induced Periodic Surface Structures." *Laser & Photonics Reviews* 14.10 (2020): 2000215.
6. Gnilitzkyi, Iaroslav, et al. "Cell and tissue response to nanotextured Ti6Al4V and Zr implants using high-speed femtosecond laser-induced periodic surface structures." *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 21 (2019): 102036.

УДК 621.373.8

Ю.С. Лапченко, Р.В. Тутейко

Луцький національний технічний університет
y.lapchenko@lnu.edu.ua

ФОРМУВАННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ТА КОМБІНОВАНОЇ ТОПОЛОГІЇ МІКРОСТРУКТУРОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

В роботі було досліджено параметри мікроструктурованої поверхні, що отримується в стаціонарному режимі опромінення від режиму сканування, а також можливість управління нанотопологією і хімічним складом мікроструктур. При багатоімпульсному опроміненні ППС в абляційному режимі відбувається перехід до формування мікроструктур (на різних довжинах хвиль). Виходячи з огляду літератури, на сьогоднішній день не проведено систематичного дослідження механізмів формування поверхневих мікроструктур на металах під дією УКІ, достатнього для розуміння механізмів їх формування. У багатьох випадках абляційні кратери збільшуються в діаметрі зі зростанням числа імпульсів завдяки так званому акумулятивному ефекту. Моделювання динаміки посилення інтенсивності біля одиничного мікроконуса зі збільшенням його розмірів H і D не виявило такої сильної залежності посилення від розмірів, яке спостерігається експериментально зі зростанням N .

Ключові слова: абляційний кратер, мікроконус, нуклеація, лазерний імпульс, мікропоглиблення, експозиція.

Y. Lapchenko R. Tuteiko. Formation of microrelief and combined topology of microstructured surface. The work investigated the parameters of the microstructured surface obtained in the stationary mode of irradiation from the scanning mode, as well as the possibility of controlling the nanotopology and chemical composition of microstructures. With multi-pulse irradiation of PPS in the ablation mode, there is a transition to the formation of microstructures (at different wavelengths). Based on the review of the literature, to date there has been no systematic study of the mechanisms of surface microstructure formation on metals under the action of UKI, sufficient to understand the mechanisms of their formation. In many cases, ablation craters increase in diameter as the number of pulses increases due to the so-called accumulative effect. Modeling of the dynamics of intensity enhancement near a single microcone with an increase in its dimensions H and D did not reveal such a strong dependence of the enhancement on dimensions, which is observed experimentally with the growth of N .

Key words: ablation crater, microcone, nucleation, laser pulse, microindentation, exposure.

Постановка проблеми. Отримання функціональних поверхневих нано- та мікроструктур є одним із найважливіших завдань сучасних технологій. Наноструктури на поверхні металів знаходять своє застосування для виготовлення одномолекулярних сенсорів за рахунок ефекту гігантського посилення комбінаційного розсіювання, для надання поверхні нових оптичних властивостей за рахунок збудження поверхневих плазмонів, створення елементної бази плазмових ланцюгів тощо. Мікроструктуровані метали та напівпровідники мають властивості підвищеного поглинання падаючого на них світла, а також у поєднанні з нанорозмірними структурами демонструють підвищену гідрофобність та біосумісність.

Для виготовлення поверхневих структур використовуються різні методи: хімічне травлення, літографія іонним або електронним пучками, механічна дія зондом атомно-силового мікроскопа, різні лазерні методи. В принципі, використання лазера не вимагає використання шкідливих хімічних речовин або вакууму, значно дешевше, ніж використання електронних та іонних гармат, а також відрізняється високою продуктивністю. Однак найбільш високопродуктивною і простою лазерною технікою нано-і мікроструктурування поверхні є використання слабо сфокусованих на поверхню ультракоротких лазерних імпульсів (УКІ), коли структури на поверхні з'являються одночасно по всій області впливу лазерним пучком. При цьому залежно від режиму впливу та навколишнього середовища, можливе отримання як періодичних (ППС), так і неперіодичних поверхневих структур у діапазоні характерних масштабів від десятків нанометрів до десятків мікронів.

Незважаючи на простоту отримання нано- та мікрорельєфу за допомогою лазерного методу механізми їх отримання досі залишаються темою дискусій, зважаючи на складність картини взаємодії інтенсивних УКІ з поверхнею. Так само недостатньо досліджені та розвинені застосування, одержуваних даним методом нано- та мікроструктур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З обговорення основних відмінностей між режимами впливу УКІ і щодо довгих імпульсів на поверхню, проведених у попередньому параграфі, випливає, що характер поверхневого рельєфу, що формується, також повинен істотно залежати від тривалості гріючого лазерного імпульсу.

Досить добре вивчені механізми виникнення (формування або, інакше, запису) ППС, індукованих лазерними імпульсами в діапазоні тривалостей від 10^{-3} до 10^{-11} секунди [1], тобто коли тривалість імпульсів істотно більша за характерні часи електрон-фононої релаксації для опромінюваного матеріалу. У таких випадках модуляція рельєфу утворюється в процесі поглинання лазерного імпульсу і зазвичай зберігається після його припинення. Періоди та орієнтації ґраток істотно залежать від характеристик лазерного випромінювання – кута падіння, поляризації, частоти, енергії імпульсу, довжини хвилі. Численні досліди із застосуванням високошвидкісних методів діагностики показали, що розвиток періодичних структур у часі носить характер наростання нестійкостей, динаміка розвитку останніх має багато спільного з добре відомими в нелінійній оптиці нестійкостями при вимушеному розсіянні [2].

Одні з перших робіт, де досліджувалися ППС після впливу УКІ на поверхню, показали можливість формування структур, схожі на добре відомі раніше [3, 4]. Головною подібністю їх з ППС, отриманих «довгими» імпульсами, є їхня орієнтація, тоді як уже починаючи з робіт [5, 6] виявилось суттєве зменшення періоду ППС від значень $\lambda/2$ аж до $\lambda/5$, що надалі в зарубіжній літературі отримало назву "High-Spatial-Frequency LIPSS" (HSFL), або "nanoripples", або "nanograting".

Мета роботи. Дослідити параметри мікроструктурованої поверхні, що отримується в стаціонарному режимі опромінення від режиму сканування, а також можливість управління нанотопологією і хімічним складом мікроструктур.

Викладення основного матеріалу. При багатоімпульсному опроміненні ППС в абляційному режимі відбувається перехід до формування мікроструктур (на різних довжинах хвиль). Виходячи з огляду літератури, на сьогоднішній день не проведено систематичного дослідження механізмів формування поверхневих мікроструктур на металах під дією УКІ, достатнього для розуміння механізмів їх формування.

Зразок титану (фольга товщиною 55 мкм) опромінювався різним числом імпульсів $n \approx 30$ - 1000 УФ ($\lambda=248$ нм) УКІ і при різних щільності енергії $F \approx 40$ - 200 мДж/см² шляхом експозиції нерухомої поверхні злегка еліптичним пучком 120 та 160 мкм за рівнем $1/e$. Опромінення титанової фольги проводилося в стаціонарному режимі, щоб унеможливити накладання різних режимів

впливу при скануванні гаусовим лазерним пучком і виділити різні типи структур на різних ділянках впливу.

Із загального виду отриманих абляційних кратерів (Рис. 1, а-г) видно, що вони мають чітко виражені межі, що є наслідком механізму їх формування. Поріг абляції для умов даного експерименту оцінений на основі вимірювання діаметрів кратерів, отриманих при різних енергіях і склав приблизно 30 мДж/см² для N=30. Це істотно нижче порогів плавлення і фрагментації титану (~50 мДж/см² і 300 мДж/см², відповідно) під дією ІЧ УКВ, але дещо вище, ніж багатоімпульсний (N~10³) поріг формування ППС (~25 мДж/см²) під дією УФ УКІ. Тут також спостерігалось формування ПКС на периферії сфери впливу.

У багатьох випадках абляційні кратери збільшуються в діаметрі зі зростанням числа імпульсів завдяки так званому акумулятивному ефекту. Навпаки, в наших експериментах кратери ставали хоч і глибше, але вже зі збільшенням числа поглинених ДКІ (Рис. 1 а,б,в та зелені лінії на Рис. 1 г). На рисунку 1 СЕМ-знімки отриманих абляційних кратерів демонструють наявність двох типів конічних мікроструктур (мікроконуси) – периферійні та центральні. У той час як периферійні мікроконуси формуються тільки на самому кордоні кратерів і потім поширюються у напрямку до центру кратера, центральні мікроконуси розвиваються з поперечних мікро-ППС, які завжди передують формуванню мікроконусів.

Як показано на рисунку 1 мікроконуси з різними розмірами, залежно від N, формуються на краях відкольних кратерів. Такі мікроконуси на вигляд подібні мікроконусів, що виникають в центрі області впливу (Рис. 1 е). Більш того, їх розміри збільшуються і вони прагнуть заповнити поверхню кратера (схематично показано зеленими лініями на рисунку 1 г) зі зростанням числа імпульсів.

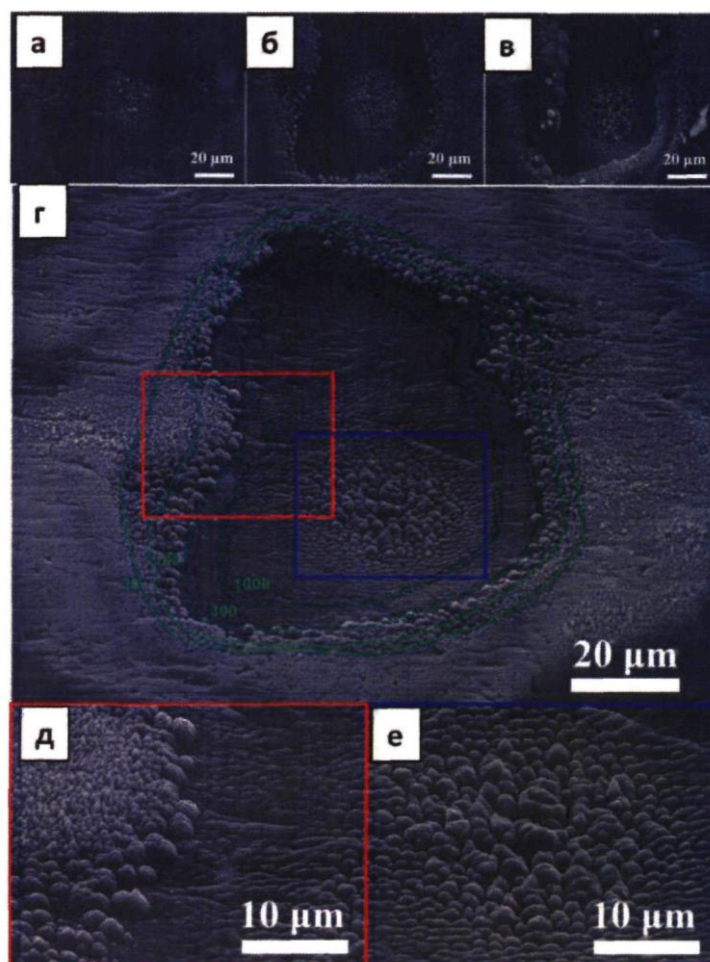


Рисунок 1 – СЕМ-зображення (кут перегляду 0°) абляційних кратерів на поверхні титану, опроміненої УКІ при F=40 мДж/см² з різними експозиціями N: 1x10² (а), 3x10² (б) та 1x10³ (в), (г) Збільшений вид абляційного кратера (кут перегляду 45°), сформованого при F=40 мДж/см² і N~300. СЕМ-знімки мікроконусів у центрі (д) та на периферії (е) кратера на малюнку (г). Зелені лінії на малюнку (г) відповідають межам кратерів при різних експозиціях TV, позначених відповідними зеленими лініями

На перший погляд, факт утворення мікроконусів на периферії виглядає парадоксально, оскільки раніше мікроконуси спостерігалися при щільності енергії, що перевищують поріг фрагментаційної абляції (див. гл.1 і 3), в той час як тільки ППС з'являються при менших щільності енергії, порівнянних з порогами відкільної абляції. У режимі нижче порога откольної абляції, зазвичай, формуються лише застигли цілі чи лопнули бульбашки в приповерхневому шарі (див. гл.1 і гол. 3).

Неоднорідне поглинання енергії та переосадження матеріалу біля межі відкольного кратера на таких підпорогових нанонеоднорідностях може запускати процес «гетерогенної» нуклеації мікроконусів. Як тільки виникає початкове кільце мікроконусів вздовж межі відкольного кратера, воно потім стягується до центру кратера - до областей, що відповідають великим густинам енергії та інтенсивнішої абляції, акумулюючи більше переосадженого матеріалу. Таким чином, неоднорідне нагрівання має індукувати позитивний оптичний зворотний зв'язок під час зростання мікроконусів, при цьому забезпечуючи "ефективніший процес абляції (фрагментацію), ніж відкол, який призводить до відносно невеликого видалення нанометрового шару матеріалу з товщиною майже не залежної від щільності енергії.

Ці якісні міркування підтверджуються чисельним 2D моделюванням інтерференційного розподілу інтенсивності УФ-випромінювання біля одного або двох мікроконусів. Моделювання проводилося на основі рішення хвильового рівняння для ЕМ поля методом кінцевих елементів у програмі Comsol для задачі дифракції падаючої плоскої ЕМ хвилі на мікроконусах титану з діелектричною проникністю $\varepsilon = 0,07 + i3,0$. Результати обчислень показують, що у першому інтерференційному максимумі на поверхні біля одиничного мікроконуса з діаметром основи $D = 2$ мкм, висотою $H = 3,24$ мкм та радіусом кривизни $0,125$ мкм відбувається посилення інтенсивності до 2 разів (блакитні стрілки на рисунку 2).

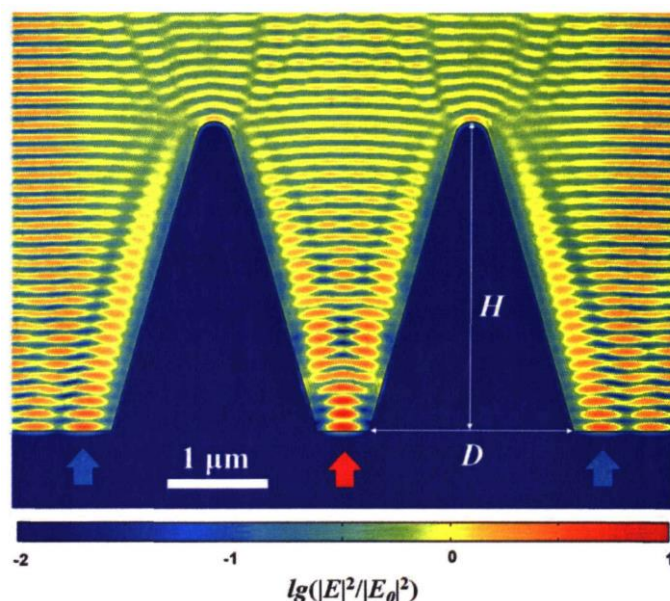


Рисунок 2 – Розрахунковий розподіл лазерної інтенсивності біля двох однакових мікроконусів з експериментальними геометричними параметрами ($D=2$ мкм, $H=3,24$ мкм та радіусом кривизни вершини піку $=125$ нм) на поверхні титану (діелектрична проникність $\varepsilon = 0,07 + i3,0$ на $\lambda=248$ нм).

Сині та червоні стрілки відповідають факторам посилення інтенсивності у 2,1 та 3,1 рази, відповідно. Кольорова шкала відміряє десятковий логарифм нормованої інтенсивності.

В експерименті під впливом лазерного опромінення при $F > F_{\text{spall}}$ і за наявності максимумів інтерференції на поверхні, що підсилюють локальну щільність енергії приблизно в 2 рази, відбувається локальне перевищення порога фрагментаційної абляції, так як типове співвідношення між F_{spall} та F_{frag} зазвичай не перевищує 1,5. Така інтенсивніша локальна абляція призводить до формування кільцевого мікропоглиблення біля кожного мікроконуса (Рис. 3 а,в,д). Деяка частина локально аблірованого матеріалу переосаджується на вершини мікроконусів, збільшуючи їх обсяг.

Інший важливий випадок - близьке розташування двох однакових мікроконусів, що забезпечують посилення інтерференційного максимуму між ними. На відстані між їхніми вершинами в $2,5$ мкм проведене чисельне моделювання дало посилення інтенсивності під

поверхнею приблизно в 3 рази (червона стрілка на рисунку 2). Тому таке зближення мікроконусів забезпечує більш інтенсивну абляцію між ними та більш сприятливі умови для зростання обсягу мікроконусів. Важливо відзначити, що моделювання випадку опромінення ІЧ ($\lambda=800$ нм) випромінюванням мікроконусів з аналогічними геометричними параметрами, але з іншою діелектричною проникністю ($\varepsilon = -4 + 12i$), не дало ніякого посилення інтенсивності в сусідніх областях. Ця обставина свідчить, що УФ УКІ забезпечують формування менших мікроструктур з більшим аспекним співвідношенням, ніж поширені ІЧ УКІ.

Мікроконуси, що з'являються в центрі абляційних кратерів, демонструють дві основні тенденції – нуклеацію та Оствальдівське дозрівання (або коалесценція) (Рис. 3 та Рис. 4) – як послідовні класичні стадії. Якісно, нуклеація мікроконусів, як різке збільшення їхньої поверхневої щільності, найкраще спостерігається на Рис. 4, де при мінімальній щільності енергії $F_0 \approx 40$ мДж/см² зі зростанням числа імпульсів N до 3×10^2 . Потім Оствальдівське дозрівання мікроконусів призводить до збільшення їх у розмірах.

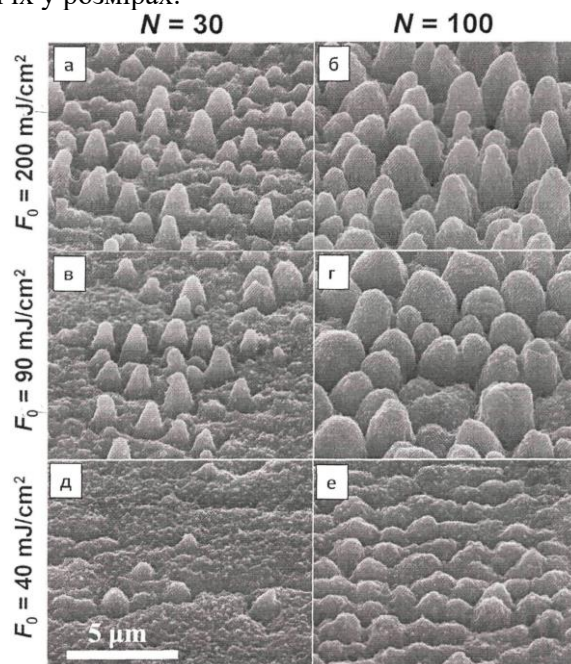


Рисунок 3 – СЕМ-знімки (кут огляду - 45°) центрів абляційних кратерів після опромінення $N=30$ та 1×10^2 УКІ з різними щільностями енергії. Шкала на рисунку (д) відноситься до всіх рисунків

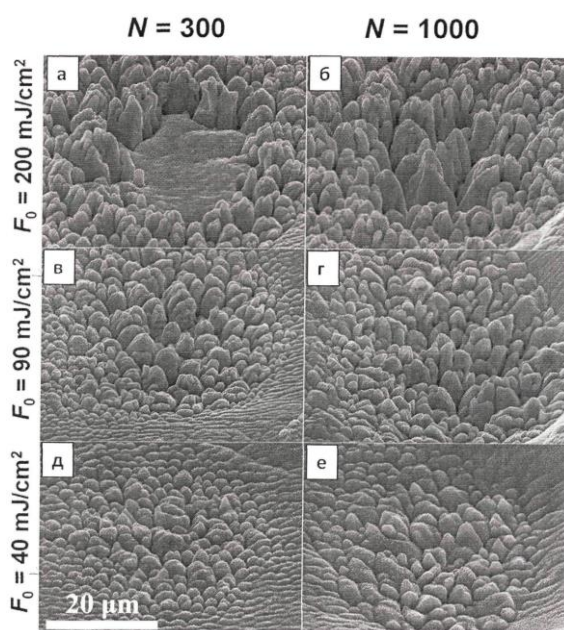


Рисунок 4 – СЕМ-знімки (кут огляду - 45°) центрів абляційних кратерів після опромінення $N=3 \times 10^2$ та 1×10^3 УКІ з різними щільностями енергії. Шкала на рисунку (д) відноситься до всіх рисунків.

Додатково при $F > 90$ мДж/см² спостерігається виникнення плоскої згладженої області в самому центрі кратера (наприклад, Рис. 4 а). Така топологія спостерігалася нещодавно та в інших роботах з багатоімпульсного впливу ІЧ УКІ на титан. Очевидно, у цій галузі однорідна абляція переважає над переосадженням, не допускаючи нуклеацію мікроконусів через локальне неоднорідне вкідання енергії та абляцію.

Середній діаметр D та висота H індивідуальних мікроконусів значно збільшуються зі зростанням F або N (Рис. 5 а), відповідно до вищезгаданого ефекту укрупнення. У той же час їх аспектне співвідношення ($=H/D$), яке важливе для багатьох сучасних додатків, зазначених в огляді літератури (див. гл. 1), змінюється немонотонно і максимально для $N=30$ і $F \approx 90$ мДж/см² (Рис. 5 б). Однак якщо враховувати більше широкий набір параметрів мікроконусів - висоту, поверхневу щільність і аспектне співвідношення - найбільш оптимальним режимом є найбільш інтенсивний режим (200 мДж/см²) практично для всіх експозицій.

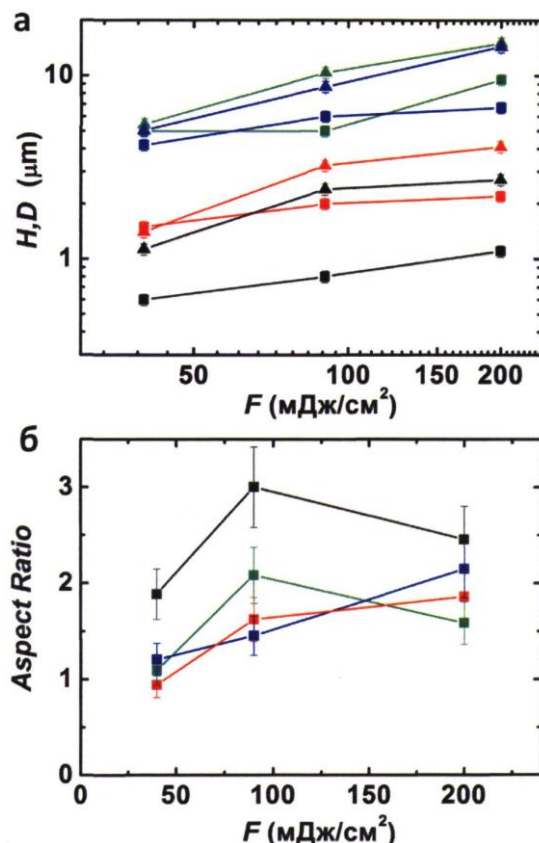


Рисунок 5 – (а) Залежності середнього діаметра D (квадрати) та висот H мікроконусів (трикутники) від щільності енергії F для різних експозицій $N=30$ (чорний), 1×10^2 (червоний), 3×10^2 (синій) та 1×10^3 (зелений), (б) Залежності середніх аспектних співвідношень ($=H/D$) мікроконусів від F для різних експозицій $N=30$ (чорні криві), 1×10^2 (червоні криві), 3×10^2 (сині криві) та 1×10^3 (зелені криві).

Для розуміння механізмів формування мікроконусів необхідний аналіз залежності середнього обсягу індивідуальних мікроконусів $V = (\pi/12) \cdot D^2 \cdot H$ від щільності лазерної енергії. Отримані залежності для різних експозицій N демонструють логарифмічну поведінку (Рис. 6 а). Відомо, що логарифмічна залежність спостерігається для залежності глибини абляційного кратера d_{abl} від густини енергії УКІ $d_{abl} \sim \ln(F/F_{th})$ де F_{th} - поріг абляції за густиною енергії. Тому, якщо частина абльованого матеріалу переосаджується на мікроконуси, що ростуть, то обсяг кожного з них повинен також демонструвати логарифмічну поведінку $V \sim d_{abl} \sim \ln(F/F_{th})$. Справді, апроксимація експериментальної залежності $V(F)$ на рисунку 6 а логарифмічними функціями дає універсальну залежність $V \sim \ln(F/28)$ з якоюсь «пороговою» щільністю енергії формування мікроконусів $F_{mc} \approx 28 \pm 3$ мДж/см². Дане значення близьке до певного порогу відкільної абляції $F_{abl}(N=30) \approx 30$ мДж/см², що говорить про абляційний характер формування мікроконусів.

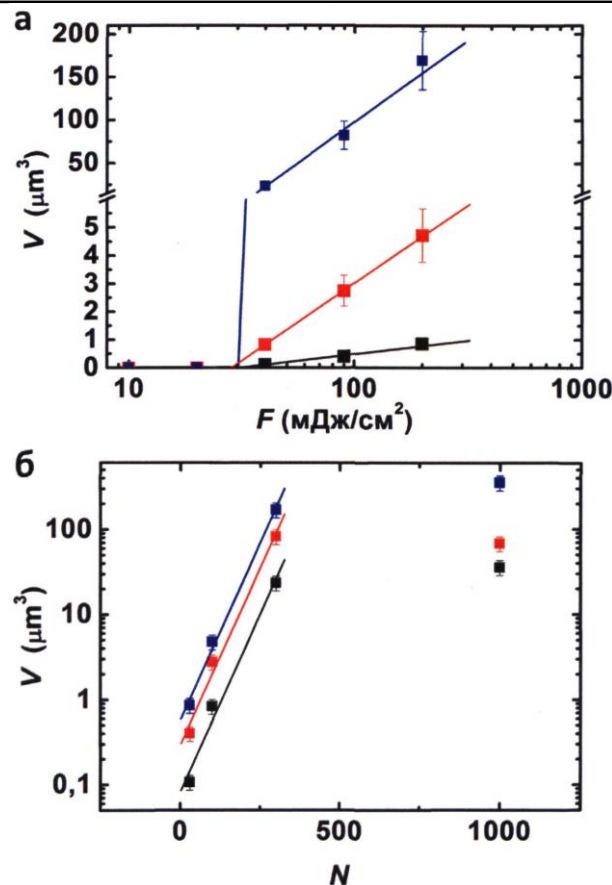


Рисунок 6 – (а) Залежності середнього обсягу мікроконусів від F для різних лазерних експозицій: $N=30$ (чорні квадрати), 1×10^2 (червоні квадрати), 3×10^2 (сині квадрати), а також їх логарифмічні апроксимації (відповідні кольорові лінії). Для зручності подання вісь ординат розірвана між значеннями 6 та $20 \mu\text{m}^3$. (б) Залежності середнього обсягу мікроконусів від N для різних щільностей енергії $F=40 \text{ мДж}/\text{см}^2$ (чорні квадрати), $90 \text{ мДж}/\text{см}^2$ (червоні квадрати), та $200 \text{ мДж}/\text{см}^2$ (сині квадрати). Кольорові прямі лінії відповідають експоненційним апроксимаціям експериментальних даних у початковій стадії.

Більш того, параметр V демонструє експоненційне зростання зі збільшенням числа поглинених ДКІ при $N \leq 300$ і подальше насичення для всіх F (Рис. 6 б). Така поведінка рельєфу характерна для розвитку нестійкості, коли на лінійній стадії відбувається експоненційне зростання елементів системи, а потім їхня нелінійна взаємодія призводить до насичення, стабілізуючи динаміку зростання. Так як за щільністю енергії мікроконуси виникають біля порогу відколи абляції ($F_{mc} \approx F_{abl}(N=30)$), то їх подальше зростання може бути віднесене до розвитку абляційної нестійкості за рахунок неоднорідного вкладення ЕМ енергії на поверхні.

Моделювання динаміки посилення інтенсивності біля одиничного мікроконуса зі збільшенням його розмірів N і D не виявило такої сильної залежності посилення від розмірів, яке спостерігається експериментально зі зростанням N . Однак коли мікроконуси наближаються один до одного, то між ними посилення зростає значно сильніше (Рис. 2 червона стрілка). Потім, при досить щільному заповненні поверхні мікроконус відбувається їх дотик, і далі спостерігається стабілізація росту мікрорельєфу, так як подальше зближення (зростання посилення) вже неможливо.

Проведений аналіз показує, що два типи мікроконусів -периферійні і центральні - виникають через однакові механізми росту: нуклеація («гетерогенна» і «гомогенна», відповідно) через механізм переосадження на першій стадії і подальше Оствальдівське дозрівання (укрупнення) на другій стадії.

Інші механізми, пов'язані з розвитком гідродинамічних нестійкостей поверхневого розплаву або фотохімічного плавлення, очевидно, не можуть пояснити наявність двох типів мікроструктур (центральні та периферійні). Зокрема, виникнення гідродинамічної нестійкості Кельвіна-Гельмгольца (часто використовується для пояснення виникнення мікроконусів під дією щодо довгих імпульсів ($\tau_{pulse} > 1 \text{ ус}$) вимагає виконання умови $h_{melt} \geq \Lambda$, де h_{melt} - товщина розплаву, Λ -

характерний період) нестійкості, так як при менших товщинах розплаву сильну стабілізуючу дію на розплав має тверда поверхня. Однак відомо, що при впливі УКІ через локальність нагріву h_{melt} зазвичай близько 10^2 нм, що на один-два порядку менше масштабу мікроструктур, що виникають, або характерного масштабу між ними (Рис. 3 д). До того ж результати цієї роботи вказують на те, що не можна говорити про якийсь постійний (зі зростанням числа імпульсів) період розташування мікроконусів.

Висновки. Отже, з наведених результатів та їх аналізу ясно, що при стаціонарному багаторазовому опроміненні поверхні за допомогою УКІ з гаусовим розподілом щільності енергії, різним ділянкам області впливу відповідають різні типи ППС. Однак у літературі часто зустрічається методологічна помилка, коли в режимі сканування лазерним пучком різні дослідники приписують отриманій топології значення пікової щільності енергії, що використовується в лазерному пучку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мачехін Ю. П., Гнатенко О. С., Семенець В. В., Курський Ю. С., Неофітний М. В. Лазерні, оптико-електронні прилади та системи. Ч. 1. Лазерна інформаційно-вимірювальна техніка для задач військового призначення: монографія. Харків, 2019. 156 с.
2. Laskin A., Faidel D., Laskin V. Optics to Control Thermal Effects in Selective Laser Melting. // SPIE, Photonics West Proc. 2018. Vol. 10523. id. 105231912.
3. Гнатенко А. С., Мачехін Ю. П., Курський Ю. С., Обозна В. П. Забезпечення синхронізації мод в волоконних кільцевих лазерах // Журнал нано- та електронної фізики. 2018. Т. №2. С. 02033-1 – 02033-8.
4. Neofitnyi M. V., Kurskoy Yu. S., Hnatenko O. S., Machekhin Yu. P., Topological model of laser emission parameters research. IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL*2019, September 6–8, Sozopol, Bulgaria, 2019. P. 280 – 283.
5. Kurskoy Yuriy S., Hnatenko Oleksandr S., Machekhin Yuriy P., Neofitnyi Mykhaylo V., Zarytskyi Valeriy I., Wójcik Waldemar, Orazalieva Sandugash, Smailova Saule. Optical system recognition via topological methods. Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810M (14 October 2020). P. 1 – 7.
6. Kurskoy Yu. S., Machekhin Yu. P., Gnatenko A. S. Topological methods in measurement and research of nonlinear dynamical systems // Вісник ХНУ. Серія «Фізика». 2018. № 29. С. 22 – 28.

УДК 681.1; 621.3; 621.7

В. П. Симонюк, А. А. Тимошук

Луцький національний технічний університет

e-mail: v.symonyuk@lntu.edu.ua

ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ

У статті проаналізовано переваги та недоліки сучасного стану 3D-друку за технологією SLS. Можливість друкувати велику кількість деталей за короткий проміжок часу є основною перевагою селективного лазерного спікання. У поєднанні з високою швидкістю лазера, спеціальними станціями розпакування та станціями поповнення порошку можна досягти високої продуктивності за низьких витрат на деталі. Порівняно з класичними виробничими процесами, які створюють багато відходів, 3D-друк SLS більш ефективний, оскільки для створення кінцевого продукту використовується лише кількість порошку, необхідна для виготовлення деталі. Після друку компонента надлишок порошку можна зібрати та повторно використати для подальшого виробництва.

Ключові слова: технологія SLS, дрібнодисперсні порошкові матеріали, 3D-друк, магнітне поле, крихкі деталі, мікро- та наносистемна техніка.

V. P. Simonyuk, A. A. Tymoshchuk. To the technological possibilities of selective laser sintering.

The article analyzes the advantages and disadvantages of the current state of 3D printing using SLS technology. The ability to print a large number of parts in a short period of time is the main advantage of

selective laser sintering. Combined with high laser speeds, dedicated unpacking stations and powder refill stations, high productivity can be achieved at low part costs.

Compared to classic manufacturing processes that create a lot of waste, SLS 3D printing is more efficient because only the amount of powder needed to make the part is used to create the final product. After the component is printed, excess powder can be collected and reused for further production.

Keywords: SLS technology, finely dispersed powder materials, 3D printing, magnetic field, fragile parts, micro- and nanosystem technology.

Постановка проблеми. Селективне лазерне спікання (SLS) — це процес 3D-друку (адитивне виробництво), який використовує потужний лазер для спікання або з'єднання дрібнодисперсних порошкових матеріалів у тверді структури. У цьому процесі принтер наносить однорідний шар порошку, а потім точно спікає цей шар, повторюючи процес нанесення покриття та спікання. Форма об'єкта створюється шляхом наведення лазера на шар порошку в певні точки простору за допомогою створеного цифровим способом файлу CAD (Computer Aided Design) [1, 2].

Машини SLS можуть виробляти високоточну продукцію, включаючи невеликі партії прецизійних деталей в автомобільній та аерокосмічній промисловості. SLS може виготовляти великі або геометрично складні, делікатні та високоточні деталі з різних матеріалів.

На початку 1980-х у молодого Карла Р. Декарда (народився в 1961 році) під час навчання в Техаському університеті виникла ідея виготовляти форми безпосередньо з даних САПР. У той час він працював у компанії TRW Mission у Х'юстоні, де вперше зіткнувся з новим програмним забезпеченням для проектування. У 1984 році, коли він закінчував навчання в бакалавраті, до нього прийшла ідея використовувати спрямований пучок енергії для плавлення частинок порошку [3].

Перевагами технології SLS є те, що можна швидко надрукувати велику кількість деталей. Можливість друкувати велику кількість деталей за короткий проміжок часу є основною перевагою селективного лазерного спікання. SLS дозволяє клієнтам щільно вкладати моделі в об'єм збірки, що неможливо з іншими 3D-технологіями, і навіть може бути досягнуто автоматично за допомогою функції вкладки, тим самим скорочуючи час друку. У поєднанні з високою швидкістю лазера, спеціальними станціями розпакування та станціями поповнення порошку можна досягти високої продуктивності за низьких витрат на деталі. Друк SLS підійде для тих, хто хоче підвищити продуктивність або успішно розширити виробничі потужності. Ефективність досягається шляхом щільного упакування і заповнення монтажного об'єму. SLS є гарним вибором для великосерійного виробництва через точність і постійність продуктів, які виробляються з його допомогою.

Постановка завдання. Встановити недоліки та суттєві переваги селективного лазерного спікання (SLS) за допомогою 3D-друку та визначити перспективні шляхи розвитку даної технології.

Виклад основного матеріалу. Деталі мають високу гнучкість і точність. Ця технологія 3D-друку дозволяє робити речі, які не можуть традиційні процеси виробництва. Це пов'язано з точністю лазера. Без опорних конструкцій SLS може виготовляти деталі з високою точністю та повною гнучкістю форми. Друк SLS, безумовно, є хорошим рішенням, яке варте інвестицій для тих, кому потрібні особливо складні геометрії чи точні форми. Фактично, виробництво складної геометрії є явною перевагою цього методу 3D-друку, за умови дотримання специфікацій дизайну. Крім того, селективне лазерне спікання пропонує механічні переваги для створення корисних деталей.

Хороші механічні властивості. Процес SLS забезпечує дуже міцну адгезію між шарами, тому деталь має хороші ізотропні властивості. Це означає, що їх міцність на розрив, жорсткість і подовження при розриві однакові вздовж осей x, y і z. Ці властивості означають, що друковані деталі часто є хорошою заміною литим деталям – чи то для створення прототипів, чи для дрібносерійного виробництва. Оскільки використовується зазвичай нейлон, ці деталі також мають гарну хімічну стійкість.

Підходить для функціональної структури. Вибіркове лазерне спікання підходить для конструкцій, які значною мірою залежать від певних функцій, таких як регульовані механізми. Не потрібні опорні конструкції, оскільки 3D-виріб створюється всередині силового шару під час селективного лазерного спікання. Це дає змогу використовувати такі функції, як внутрішні рухомі частини або нависні конструкції, у спосіб, який неможливо досягти за допомогою традиційних методів виробництва, і кілька частин можна навіть друкувати разом як зібраний блок.

Підходить для фарбування. Деталі, виготовлені за технологією SLS, мають пористу поверхню, що може бути перевагою чи недоліком залежно від застосування. Це означає, що вони можуть піддаватися фарбуванню.

SLS не вимагає опорних структур. На відміну від багатьох інших адитивних методів виробництва, таких як стереолітографія, селективне лазерне спікання не потребує опорних структур, оскільки порошок діє як самосуцый елемент. Надруковані частини здебільшого самодостатні, оскільки порошок рівномірно розподіляється по всій площі друку, що зменшує потребу в трудомістких і ресурсомістких процедурах постобробки.

Менше відходів у процесі SLS. Деталі можна виготовляти без утворення великої кількості відходів. Порівняно з класичними виробничими процесами, які створюють багато відходів, 3D-друк SLS більш ефективний, оскільки для створення кінцевого продукту використовується лише кількість порошку, необхідна для виготовлення деталі. Після друку компонента надлишок порошку можна зібрати та повторно використати для подальшого виробництва.

Скорочений час розробки продукту. Як і всі технології 3D-друку, селективне лазерне спікання дозволяє інженерам створювати економічно ефективні прототиби деталей на ранніх стадіях проєктування, оскільки для цього не потрібні інструменти та не вимагає складного налаштування. Для невеликих обсягів виробництва можна навіть використовувати ту саму машину для виготовлення деталей кінцевого використання. Це означає, що можна швидко тестувати та змінювати прототиби та переходити до виробництва протягом короткого часу.

Недоліками технології SLS є те, що охолодження після обробки може призвести до усадки. Одним із головних недоліків селективного лазерного спікання є усадка, викликана охолодженням після виробництва. Це означає, що коли деталь починає охолоджуватися, вона стискається, що може призвести до нижчої точності розмірів деталі порівняно з іншими методами адитивного виробництва. Залежно від конструкції усадка може становити від 3% до 4%. Щоб усунути градієнти температури та мінімізувати усадку, полотно для друку потрібно попередньо нагріти, але після завершення всього процесу охолодження це може призвести до значного зменшення розміру виготовленого продукту. Ця усадка повинна бути врахована в проєктній документації. Деякі частини друкованої продукції можуть деформуватися в процесі охолодження, особливо якщо вони великі та плоскі. Через різницю температур у деталі виникає напруга, що призводить до згинання деталі. Напруги, викликані цією усадкою, також можуть деформувати або спотворювати гострі кути.

Деталі SLS не мають гладких поверхонь. Натомість вони часто є пористими через частинки порошку, які використовуються в процесі. Це відбувається під час плавлення, тому що деякі частини не можуть бути розплавлені. Це призводить до незначного зниження якості кінцевого продукту, але існують методи постобробки, щоб досягти більш гладкої поверхні, якщо потрібно.

Вимагає окремої системи очищення. Інший недолік селективного лазерного спікання в основному пов'язаний з процедурою очищення. Процес очищення може бути складним, оскільки вимагає видалення компонентів із металевого або полімерного порошку (цей процес відомий як розпакування) та очищення кінцевого продукту стисненим повітрям.

Порошок може бути потенційно небезпечним. Дрібнодисперсні порошки, які використовуються при селективному лазерному спіканні, також можуть викликати потенційні проблеми з диханням, особливо під час роботи з металами.

Окрім потенційної небезпеки для органів дихання, деякі порошки можуть бути вибухонебезпечними, а це означає, що необхідно дотримуватися певних процедур безпеки та обладнання.

Високий поріг входу. Ті, хто має досвід FDM, можуть натрапляти на труднощі. Розробці деталей SLS потрібно навчатися, оскільки деталі для цих двох процесів досить різні.

Вибір матеріалів для SLS не великий. Наприклад, Protolabs пропонує повний спектр матеріалів, від гнучкого TPU та PA 12 Flex до міцного PA 12 зі склонаповнювачем на 40% та PA 12 з вуглецевим наповненням, а також матеріал загального призначення PA 12 White. Виявлено, що в більшості проєктів використовуються матеріали на основі нейлону або поліаміду, які є інженерними пластиками та можуть використовуватися в широкому діапазоні застосувань. Нейлон також є у вільному доступі та є відносно економічно ефективним.

SLS утворює більше відходів, ніж інші типи адитивного виробництва. Однією з головних переваг адитивного виробництва є те, що при використанні технології є мінімальні відходи матеріалу. SLS утворює деякі відходи, оскільки порошок у камері попередньо нагрівається, щоб його можна було спікати з мінімальним впливом лазера. Це може призвести до часткового злиття частинок у пористих шарах порошку, погіршуючи якість їх повторного використання. На практиці, хоча частину невикористаного порошку можна переробити, частина йде у відходи [4].

У 2014 році нове покоління компаній з'явилося на ринку SLS, скориставшись закінченням терміну дії оригінального патенту SLS, і прагнучи зробити технологію більш доступною.

Ця зміна призвела до появи настільного 3D-принтера SLS, який не настільки малий, щоб називати його «настільним», але досить компактний, щоб розміститися на столі майстерні. Поява настільних 3D-принтерів відкрила технологію для користувачів і малих підприємств, які не мають коштів або місця для встановлення промислової системи SLS.

Такі стартапи, як Sinterit, Sharebot, Sintratec і нещодавно Formlabs, приєдналися до конкуренції за компактний 3D-друк SLS.

Sharebot була першою компанією, яка вивела на ринок настільну машину SLS SnowWhite, яка вперше почала поставлятися клієнтам у 2016 році. На відміну від систем Sintratec і Sinterit, які оснащені діодними лазерами, SnowWhite має більш потужний CO₂-лазер, який зазвичай встановлюється на високоякісних професійних машинах.

Лазер і невеликий робочий об'єм 100 x 100 x 100 мм (для друку, використовуючи лише 300 грамів порошку) роблять систему SnowWhite особливо придатною для застосування в розробці матеріалів.

Іншою великою компанією у цій галузі є польська компанія Sinterit зі своєю системою Sinterit Lisa, яка залишається лідером у цьому сегменті ринку, що зростає. Система Sinterit Lisa вартістю від 6 990 євро, має робочу зону 150 x 200 x 150 мм і мінімальну роздільну здатність шару 0,075 мкм, що робить її придатною для малих підприємств, які хочуть ознайомитися з технологією SLS без значних інвестицій у громіздке і дороге обладнання. У 2019 році компанія також випустила свій найновіший настільний SLS 3D-принтер Sinterit Lisa Pro.

Потенційно важливою інновацією в цій галузі може стати Fuse 1, SLS 3D-принтер, запущений у 2017 році лідером настільної стереолітографії Formlabs. Система, яка має розмір друку 165 x 165 x 320 мм, оснащена волоконним лазером, коштує близько 10 000 доларів США, її комерційний випуск був розпочатий в середині 2020 року.

Потік дешевших настільних FDM та SLA/DLP 3D-принтерів спричинив дезорганізацію у галузі на початку 2010-х років, водночас зробивши значний внесок у зростання галузі адитивного виробництва. Доступний SLS тільки починає працювати та може піти подібним шляхом. Згодом це розширить охоплення SLS для ширшого кола галузей і користувачів.

Перші 3D-принтери SLS найчастіше використовували нейлон, популярний інженерний термопластик, відомий своєю легкою вагою, міцністю та довговічністю. Нейлон, також відомий як поліамід (PA), стійкий до ударів, хімічних речовин, тепла, УФ-променів, води та бруду, що робить його хорошим матеріалом для швидкого створення прототипів і виробництва.

Нейлон сьогодні залишається найпопулярнішим матеріалом для SLS. Однак прогрес у технології та матеріалах 3D-друку дозволив з'явитися композитам на основі нейлону — матеріалам, змішаним із вуглецевими волокнами, скляними волокнами та алюмінієм, які ще більше покращують механічні та термічні властивості поліамідів.

Окрім нейлону, сучасні 3D-принтери SLS можуть друкувати матеріалами PEEK, гнучкий TPU, вогнезахисні полімери та антистатичні полімери. Можливість обробки вискоєфективних матеріалів тісно пов'язана з технологічними інноваціями. Як і у випадку з EOS, компанії спочатку потрібно було створити високотемпературний 3D-принтер, перш ніж вона зможе друкувати такими матеріалами, як PEEK.

Італійська компанія з CRP Technology, є одним з ключових незалежних розробників матеріалів для SLS, відома своїм брендом Windform. Компанія пропонує широкий асортимент композитів на основі нейлону та гумоподібних пластикових порошоків.

Останніми доповненнями до лінійки Windform стали Windform FR1 і Windform FR2 - вогнестійкі композити, придатні для застосування в авіації (наприклад, деталі інтер'єру, компоненти кабіни, повітроводи та клапани випуску повітря); транспортні деталі (інтер'єри транспортних засобів, корпуси та корпусні збірки), а також споживчі товари та електроніка (освітлення і прилади).

Компанія DSM Chemicals нещодавно також досягла прогресу в розробці матеріалів SLS. Результатом став порошок полібутилентерефталату (PBT), випущений минулого року. Цікаво, що DSM пояснив, що цей матеріал насправді є першим порошком PBT, який комерціалізовано для 3D-друку SLS. PBT — це термопластичний технічний полімер, який використовується в електронній промисловості завдяки його ізоляційним властивостям.

Крім того, Forward AM, дочірня компанія хімічного гіганта BASF, пропонує ряд матеріалів SLS під торговою маркою Ultrasint. Вогнезахисний матеріал Ultrasint поліамід PA6 чорний FR є останнім розробленим матеріалом у цій серії, який має високу жорсткість і хорошу термічну стабільність. Як повідомляє Forward AM, його використовували для виробництва нових

автомобільних компонентів, які відповідають вимогам протипожежного захисту транспортних засобів.

Компанії BASF і DSM нещодавно придбали 3D-принтери SLS у французького виробника Prodways. Завдяки збільшенню потужності SLS дві хімічні компанії зможуть прискорити розробку передових матеріалів для 3D-друку SLS.

Хоча технологія SLS усуває необхідність проєктування та демонтажу опорних конструкцій, вона не позбавлена проблем після обробки. Однією з найбільших проблем є необхідність видалити надлишок порошку, який залишається на поверхні (а іноді навіть всередині) деталі.

Сучасні методи розв'язання цих проблем включають миття та очищення деталі, а також традиційні методи, такі як дробоструминна обробка. Однак ці методи вимагають значного ручного втручання, що збільшує ризик пошкодження крихких ділянок деталі та ризик виготовлення несумісних деталей.

Що стосується підготовки поверхні, SLS-деталі зазвичай згладжуються шляхом шліфування та використання напівавтоматичного обладнання, яке зазвичай не призначене для 3D-друку. Такі підходи не можуть повною мірою використати можливості SLS-принтерів і масштабувати їх до виробництва великої кількості продукції.

Кілька компаній у галузі розробляють автоматизовані рішення для постобробки деталей SLS. Наприклад, PostProcess Technologies пропонує рішення для порошкового покриття Thermal Atomized Fusillade (TAF), де два вертикальні одновісні струменеві потоки стисненого повітря, мийного засобу та суспендованих твердих речовин забезпечують цілеспрямовану послідовність розпилення, використовуючи обертання деталі на 360° для максимального впливу на поверхню.

Британська компанія AMT у 2020 році запустила автоматичне рішення для видалення порошку. Зрештою, перехід від ручного до автоматичного напилення значно спростить робочий процес 3D-друку SLS, не лише скоротивши робочі години ручної роботи, але й дозволяючи компанії більш ефективно розширити виробництво SLS.

Хоча технологія SLS продовжує використовуватися для створення прототипів, вона також набуває популярності для функціонального тестування деталей, а також для виробничих застосувань.

Наприклад, аерокосмічна промисловість використовує SLS для виготовлення інтер'єрів літаків. Emirates, найбільша авіакомпанія в Об'єднаних Арабських Еміратах, є одним із прикладів. Авіакомпанія використовує 3D-друк для виготовлення компонентів кабіни літака, включаючи екрани відеоспостереження та вентиляційні отвори. Останній був сертифікований і встановлений на літаку авіакомпанії Emirates для льотних випробувань.

Emirates співпрацює з 3D Systems для виробництва екранів відеоспостереження з використанням технології SLS і нейлонового матеріалу DuraForm ProX FR1200 від 3D Systems, який відповідає порогам вогнестійкості, який вимагає аерокосмічна промисловість для внутрішніх компонентів літаків.

У сфері споживчих товарів Chanel першою застосувала 3D-друк на основі SLS для пензлика для туші. Зараз бренд працює з французьким постачальником послуг 3D-друку Erpro Group, щоб друкувати мільйони пензликів для туші.

Завдяки технології SLS оптимізовано дизайн щітки – наприклад, шорстка, зерниста текстура, досягнута технологією SLS, покращує зчеплення туші з віями.

Крім косметики, SLS все частіше використовується в медичній та взуттєвій промисловості для виготовлення індивідуальних устілок і босоніжок.

У автомобільному спорті ця технологія допомагає командам впроваджувати інновації та тестувати конструкції автомобілів швидше, ніж традиційні методи.

Команда Формули-1 (F1) Alfa Romeo Sauber є прикладом того, як автоспортивні компанії використовують 3D-друк SLS. SLS в основному використовується для розробки аеродинаміки в аеродинамічній трубі спортивних автомобілів Alfa Romeo F1, а також для виробництва різних ламінованих форм, ядер і складних серійних деталей.

Порошкові матеріали, розроблені Sauber Engineering, використовують для виробництва та підходять для застосувань, де потрібні особливо легкі, але міцні компоненти, від систем вентиляції гальм F1 і деталей кузова для передсерійних автомобілів і прототипів, до різноманітних готових до використання елементів конструкції.

Ринок 3D-друку SLS знаходиться в стані постійного розвитку. Технології демократизуються з появою компактних і доступних настільних систем. Водночас виробники промислового обладнання

для SLS-друку все більше зосереджуються на рішеннях, які допомагають зробити SLS виробничим інструментом.

В результаті кількість проєктів, реалізованих за технологією SLS, постійно зростає. Про це свідчить той факт, що згідно зі звітом Sculpteo, понад 75% проєктів 3D-друку у 2019 році використовували технологію SLS. Найголовніше те, що SLS вважається одним із найкращих варіантів полімерного 3D-друку. Зрозуміло, що так буде як у найближчому, так і у віддаленому майбутньому [5].

Висновки. Виробництво виробів складної геометрії є явною перевагою методу 3D-друку за технологією SLS, при умові дотримання специфікацій дизайну. Крім того, селективне лазерне спікання пропонує механічні переваги для створення корисних деталей. Друковані деталі часто є хорошою заміною литим деталям – чи то для створення прототипів, чи для дрібносерійного виробництва. Оскільки використовується зазвичай нейлон, ці деталі також мають гарну хімічну стійкість.

Дана технологія дає змогу використовувати такі функції, як внутрішні рухомі частини або консольні конструкції, у спосіб, який неможливо досягти за допомогою традиційних методів виробництва, і кілька частин можна навіть друкувати разом як зібраний блок.

Порівняно з класичними виробничими процесами, які створюють багато відходів, 3D-друк SLS більш ефективний, оскільки для створення кінцевого продукту використовується лише кількість порошку, необхідна для виготовлення деталі. Після друку компонента надлишок порошку можна зібрати та повторно використати для подальшого виробництва.

Для невеликих обсягів виробництва можна навіть використовувати ту саму машину для виготовлення деталей кінцевого використання. Це означає, що можна швидко тестувати та змінювати прототипи та переходити до виробництва протягом короткого часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-selective-laser-sintering-sls>
2. До виготовлення малорозмірних та крихких деталей за допомогою 3d-друку / Матеріали X-ої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». / В.П. Симонюк, А.А. Тимошук // м. Луцьк, 30 листопада 2022 року. Випуск 10. Луцьк: ЛНТУ, 2022. С. 51 – 55.
3. <https://www.selective-lasersintering.com/history-of-selective-laser-sintering/>
4. <https://themechninja.com/11/sls-printing-advantages-and-disadvantages/>
5. <https://amfg.ai/2020/01/21/the-evolution-of-sls-new-technologies-materials-and-applications/>