

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 № 10

Lutsk - 2022

ОРГАНІЗАТОРИ

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

Національний університет «Львівська політехніка», Львів (Україна)
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Київський Національний університет харчових технологій, Київ (Україна)
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро (Україна)
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

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

Lviv Polytechnic National University, Lviv (Ukraine)
Department of Automation and Computer - Integrated Technologies

Kiev National University of Food Technologies, Kiev (Ukraine)
Department of Automation and Computer Technology of Control Systems

National Technical University Dnipro Polytechnic , Dnipro (Ukraine)
Department of Cyber-Physical and Information-Measuring Systems

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

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

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ

I. ВАХОВИЧ - д.е.н., професор, ректор Луцького національного технічного університету (Україна)

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

A. ЛАДАНЮК - д.т.н., професор кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Київського Національного університету харчових технологій (Україна)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Є. ПІСТУН – д.т.н., професор кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» (Україна)

В. ТКАЧЕВ – д.т.н., професор, завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» м. Дніпро (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)

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

A. LADANYUK - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation and Computer Technology of Control Systems of Kyiv National University of Food Technologies (Ukraine)

PROGRAM COMMITTEE

Y. PISTUN - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine)

V. TKACHEV - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Cyber-Physical and Information-Measuring Systems of National Technical University Dnipro Polytechnic (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)

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**

О. ЗАБОЛОТНИЙ – к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи та досліджень 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

СЕКРЕТАР КОНФЕРЕНЦІЇ

Р. ГРУДЕЦЬКИЙ – ст. викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

**CHAIRMAN OF THE ORGANIZING
COMMITTEE**

O. ZABOLOTNYI - Ph.D., Associate Professor, Vice-rector on scientific and pedagogical work and research 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

CONFERENCE SECRETARY

R.GRUDETSKIY - Senior Lecturer of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

ЗМІСТ

Денисюк В.Ю. , Конончук І.Ю. Аналіз методів скануючої зондової мікроскопії для контролю та діагностування наномодифікованих матеріалів	6
Лишук В.В., Сверба В.О. Дослідження системи керування кроковим двигуном .	13
Назарова О.С., Осадчий В.В., Брилистий В.В., Шульженко С.С., Олейніков М.О., Мелешко І.А., Рудім Б.Ю. Інноваційні форми роботи зі здобувачами вищої освіти для розширення практичних компетентностей у галузях електричної інженерії та автоматизації	17
Ракуцький М.А., Федік Л.Ю. Аналіз технологічного процесу виробництва цукру як об'єкта управління під час автоматизації процесу його виробництва ...	22
Решетило Б.О., Гуменюк П.О. Автоматизована система обліку методичного забезпечення (освітньої програми)	25
Решетило О.М., Лапченко Ю.С., Стельмащук Г.Л. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва господарського мила	35
Сацик В.О., Сацик О.В., Шуба В.В., Кукірік Д.В. Архітектура, переваги та недоліки застосування прикладних протоколів в системі Інтернет речей	47
Симонюк В.П., Тимощук А.А. До виготовлення малорозмірних та крихких деталей за допомогою 3D-друку	51
Стьопкін В.В., Румянцев О.В, Колесник С.І., Нетудихатка О.В. Модель системи прямого керування моментом асинхронного двигуна	56
Чумак В.С. Важливість використання програмно-педагогічних засобів при підготовці спеціалістів у сфері інформаційних технологій	62
Яцишин С.П., Лиса О.В., Мідик А.-В.В. Смарт-методи та смарт-засоби у новітніх технологіях	65

УДК 681.72

В.Ю. Денисюк, І.Ю. Конончук

Луцький національний технічний університет

E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКАНУЮЧОЇ ЗОНДОВОЇ МІКРОСКОПІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ НАНОМОДИФІКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

В даній роботі розглянуто методи скануючої зондової мікроскопії, що дозволяють визначити вид та концентрацію нанооб'єктів у середовищі наноконпозиційних полімерних матеріалів. Встановлено, що важливою перевагою приладів СЗМ є те, що за їх допомогою можливе не лише отримання тривимірної картини об'єкта на атомному рівні без руйнувань і майже без спотворень, а й управління станом атомів, їх переміщення у «потрібні» позиції, тобто здійснення модифікації поверхонь у нанометрових областях, надточної обробки, створення наноструктур із задалегідь заданими властивостями з окремих атомів.

Ключові слова: сканер, скануючий зондовий мікроскоп, мікроскопія, зонд, точність, сигнал, зображення, вимірювання, ідентифікація.

V. Denysiuk, I. Kononchuk. Analysis of scanning probe microscopy methods for control and diagnostics of nanomodified materials. In this work, the methods of scanning probe microscopy, which allow to determine the type and concentration of nano-objects in the environment of nanocomposite polymer materials, are considered. It has been established that an important advantage of SZM devices is that with their help it is possible not only to obtain a three-dimensional picture of an object at the atomic level without destruction and almost without distortion, but also to control the state of atoms, their movement to the "necessary" positions, that is, to carry out modification surfaces in the nanometer range, ultra-precise processing, creation of nanostructures with predetermined properties from individual atoms.

Key words: scanner, scanning probe microscope, microscopy, probe, precision, signal, image, measurement, identification.

Постановка проблеми. Наноконпозиційні полімерні матеріали (НПМ) за рахунок унікальних електрофізичних (квантових) властивостей все частіше застосовуються у різних сферах науки та техніки. Вони можуть використовуватися в мікроелектроніці, електроенергетиці, медицині тощо, для виробництва високочастотних, світловипромінюючих та світлопоглинаючих радіоелементів (у тому числі сонячних батарей) та інших пристроях. Наноконпозиційні матеріали мають широкий спектр різновидів зі своєю класифікацією за видом використовуваної основи (матриці) та видом частинок модифікатора. При цьому експлуатаційні властивості використовуваних наноконпозиційних матеріалів залежать від властивостей застосовуваних модифікаторів і матриць, а також їх вагового співвідношення у кінцевому продукті.

В даній час розроблено багато методів контролю, що дозволяють визначити вид та концентрацію нанооб'єктів (НО) у середовищі НПМ. Це методи скануючої зондової мікроскопії, оптичної та коливальної спектроскопії, месбауеровської спектроскопії, методи радіоспектроскопії, нейтронографії тощо. Ці методи мають високу вибірковість і точність, проте вони не дозволяють отримати об'єктивну інтегральну оцінку впливу НО, впроваджених у полімерну матрицю, на квантові властивості НПМ. Розвиток нанотехнологій у значній мірі визначається рівнем розвитку методів діагностування їх структури та властивостей.

Особливу увагу звертають при створенні та практичному застосуванні взаємодоповнюючих високороздільних методів діагностування, які забезпечують отримання більш повної інформації про основні фізичні, фізико-хімічні та геометричні параметри наноструктур та процеси, які у них відбуваються.

Для вирішення сучасних завдань діагностування потрібна адаптація до них класичних методів, а також створення нових, насамперед, локальних (до масштабів 0,1 нм) методів дослідження властивостей, які характерні нанометричній геометрії. При цьому методи дослідження наноматеріалів, що розробляються, повинні бути передусім неруйнівними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розробці нанотехнологій велику роль відіграє можливість контролювати атомні та електронні процеси *in situ* (діагностика, вбудована в технологію) з високою роздільною здатністю, аж до часу періоду атомних коливань (до 10^{-13} с і

менше). Необхідне також вивчення оптичних, електронних, механічних, магнітних та інших властивостей нанооб'єктів на наноскопічному рівні.

Для діагностування наноматеріалів застосовують такі методи дослідження поверхні, як дифракція електронів (електронні просвічуючі та скануючі мікроскопи), методи скануючої мікроскопії (зондовий, магнітно-силова, скануюча, тунельна, атомно-силова тощо), рентгенівська спектроскопія та дифракція (малокутове рентгенівське розсіяння, рентгенівська спектроскопія поглинання), електронна спектроскопія (рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, ультрафіолетова електронна спектроскопія, електронна Оже-спектроскопія), оптична та коливальна спектроскопія (раманівська спектроскопія), мессбауерівська (гама-резонансна) спектроскопія, методи радіоспектроскопії (ядерний магнітний резонанс, електронний парамагнітний резонанс), нейтронографія тощо [1, 2, 3]. Це не повний перелік «наноінструментарію». Створення нових методів вивчення наноматеріалів продовжується.

Майбутній розвиток різноманітних методів діагностування *insitu*, які враховують властивості нанооб'єктів та їх характерні розміри, є базовою частиною створення високороздільних методів вивчення властивостей наноматеріалів. У свою чергу створення комплексних методів дослідження диктується не тільки технологічними завданнями отримання наноструктур та створення на них основі наступного покоління електронних та оптичних пристроїв, а також специфічними фізико-хімічними властивостями, які часто не укладаються в рамки уявлень, що склалися, про властивості речовини [4, 5, 6].

Мега роботи. Провести аналіз існуючих методів дослідження НІМ з метою виявлення недоліків та створення нового підходу до визначення впливу НО на зміну електрофізичних властивостей синтезованих полімерних наноккомпозитів.

Викладення основного матеріалу. Основну роль у дослідженні наносвіту відіграють методи скануючої зондової мікроскопії – СЗМ (SPM, Scanning Probe Microscopy) [1], створення яких послужило найважливішим стимулом у розвиток нанотехнологій.

Зараз існують десятки різних варіантів мікроскопів – тунельний, атомно-силовий, магнітно-силовий, електростатичний силовий, скануючий фрикційний, оптичний скануючий мікроскоп ближнього поля тощо. У конструкції кожного мікроскопа є свої відмінні риси, але загальна схема побудови залишається практично незмінною.

Загальними методами зондової скануючої мікроскопії є наявність зонда – найчастіше загостреної голки (алмазної, металевої, кремнієвої, на основі вуглецевих нанотрубок) з радіусом при вершині ~ 10 нм і скануючого механізму – механічного маніпулятора (3D-п'єзосканера, виготовленого з п'єзокерамічного матеріалу), здатного переміщати зонд над поверхнею зразка (зразок під зондом) у трьох вимірах з високою точністю – по нормалі до поверхні зразка до тисячних часток нанометра, у площині зразка – на рівні сотих часток нанометра (рис. 1).

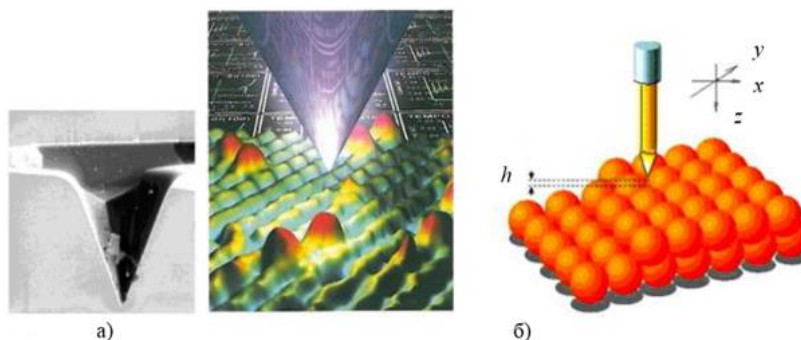


Рисунок 1 – Зонд із СЗМ (а) та його позиціонування по відношенню до досліджуваної поверхні (б)

В основі зондових мікроскопів лежать різні види взаємодії зонда з досліджуваною поверхнею. Принцип роботи скануючого тунельного мікроскопа (СТМ) полягає в:

- явищі проходження тунельного струму між металевою голкою-зондом та зразком, величина якого змінюється залежно від стану досліджуваної поверхні, наприклад, наявності западин та виступів;

- атомно-силовому мікроскопі (АСМ) використовуються сили міжатомної (міжмолекулярної)

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

квантовими ефектами виникаючими між металевим зондом і зразком, що знаходяться на відстані $\delta_z \leq 10 \text{ \AA}$ при прикладенні між ними невеликої напруги ($U = 0,01 \dots 10 \text{ В}$) (рис. 3).

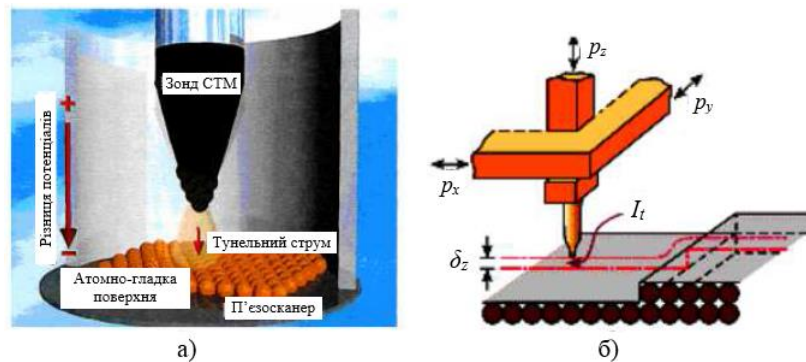


Рисунок 3 – Принцип реалізації скануючої тунельної мікроскопії: а – загальна схема роботи СТМ; б – принцип дії СТМ; p_x, p_y, p_z – п'єзоелементи; z – відстань між вістря-зондом та зразком; I_t – тунельний струм

Виникнення тунельних струмів зумовлене квантовим ефектом переходу частинок (електронів) через область, заборонену класичною механікою (потенціальний бар'єр) – тунелюванням. У СТМ цією областю є зазор між вістря голки та найближчою точкою поверхні зразка.

Тонке металеве вістря, яке змонтовано на електромеханічному приводі (X, Y, Z – п'єзосканері), служить зондом – робочим інструментом для дослідження ділянок поверхні зразка (рис. 3, а, б). Коли вістря підводиться до поверхні на відстань не більше 10 \AA , то при прикладенні між вістря і зразком напруги (від $0,01$ до 10 В) через проміжок δ_z починає проходити тунельний струм ($I_t \sim 1 \dots 10 \text{ нА}$).

Величина тунельного струму експоненціально залежить від відстані між зондом та зразком, тобто зі збільшенням відстані лише з $0,1 \text{ нм}$, сила струму зменшується майже в 10 разів. Саме це забезпечує високу роздільну здатність мікроскопа.

Завдяки реалізації тунельного ефекту СТМ дозволяють спостерігати та контролювати стан окремих атомів, тобто працювати з точністю до часток нанометра. У СТМ можлива реалізація двох режимів: при вимірюванні тунельного струму та підтримці постійної відстані δ_z від вістря до поверхні зразка – режим постійної висоти вістря голки або при вимірюванні зміни положення вістря (тобто відстані до поверхні зразка) при постійному тунельному струмі – режим постійного струму СТМ.

У кожного з режимів є свої позитивні та негативні сторони:

- режим постійної висоти відрізняється експресністю, проте корисна інформація може бути отримана лише з атомарно «гладких» поверхонь;
- режим постійного струму потребує більшого часу, але дозволяє досліджувати нерегулярні поверхні.

Другий режим (постійний струм) використовується частіше.

Конструкція сучасних маніпуляторів – п'єзоелементів забезпечує діапазон переміщень зонда до $100 \dots 200 \text{ мкм}$ у площині (з точністю у частки ангстрему) і до $5 \dots 12 \text{ мкм}$ – по висоті (з точністю до сотих часток ангстрему).

Інформація обробляється комп'ютером та виводиться на екран.

У цілому нині СТМ – це поєднання трьох напрямів: сканування, тунелювання та локального зондування. Це робить СТМ унікальним мікроскопом, який не містить лінз, що у свою чергу виключає спотворення зображення через аберації. Енергія електронів, що формують зображення, не перевищує десятка електрон-вольт (тобто менше енергії типового хімічного зв'язку). Це створює умови для реалізації неруйнівного контролю об'єкта, на той час як в електронній мікроскопії високої роздільної здатності вона досягає декількох кілоелектрон-вольт і навіть мегаелектрон-вольт, викликаючи утворення радіаційних дефектів.

Можливі різні варіанти СТМ: що працюють на повітрі та у вакуумі, низькотемпературні СТМ та працюючі в умовах кімнатних температур. Окрім дослідницьких функцій, скануюча тунельна мікроскопія здатна виконувати активні функції – конструювання наноструктур.

Тунельний мікроскоп при всіх його перевагах має суттєвий недолік – він ґрунтується на тунельному ефекті. Це говорить про те, що він застосовується лише вивчення матеріалів які проводять електричний струм. Цього недоліку позбавлені атомно-силові мікроскопи.

Атомно-силова мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія (АСМ) [1, 2, 5, 6] заснована на зміні сил відштовхування та тяжіння, що виникають у міру наближення вістря зонда до поверхні досліджуваного зразка на відстані, що можна порівняти з міжатомними і є наслідком взаємодії атомів зонда та зразка.

Голка-зонд має форму конуса або піраміди і виконується найчастіше з алмазу. Може бути також застосована фулеренова, кремнієва голка, голка з нанотрубок.

При наближенні зонда до поверхні його атоми зазнають тяжіння до атомів досліджуваного зразка. Сили тяжіння зростатимуть, доки голка та поверхня не зблизиться настільки, що вони почнуть відштовхуватися внаслідок електростатичної взаємодії. Подальше зближення експоненціально послаблює силу тяжіння внаслідок електростатичного відштовхування та лише на відстані між атомами близько 2 нм ці сили врівноважуються (рис. 4, а).

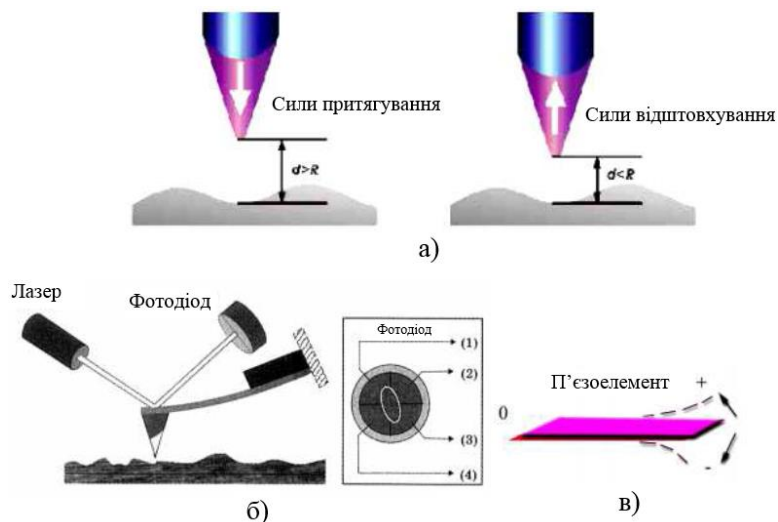


Рисунок 4 – Принцип взаємодії зонда та поверхні в АСМ (а), схема роботи АСМ (б), вигин кантилевери (в)

У сучасних конструкціях АСМ можлива реєстрація сил взаємодії між зондом і поверхнею (далеко діючих сил Ван-Дер-Ваальса) при їх віддаленні на десятки та сотні ангстрем.

Для вимірювання величини силової взаємодії використовується схема (рис. 4, б, в), яка включає як мініатюрний динамометр пружну консоль – кронштейн (або кантилевер) – кремнієву пластинку, на одному вільному кінці якої закріплений зонд, інший кінець защемлений у тримачі.

Типові розміри кантилевера:

- довжина 10 ... 100 мкм;
- ширина 3 ... 10 мкм;
- товщина 0,1 ... 1 мкм.

У момент сканування сили взаємодії зонда та зразка призводять до вигину кантилевера (рис. 4, в). Величина вигину фіксується оптичним прецизійним датчиком, що працює за наступною схемою (рис. 4, б): промінь напівпровідникового лазера падає під кутом на кантилевер і відбивається від його поверхні у центр чотирипозиційного фотодіода. При згинанні кантилевера відбувається зміщення лазерного променя відносно секцій фотодіода.

Така система дозволяє вимірювати відхилення променя лазера з точністю до $1''$, що відповідає відхиленню кантилевера на кут $2 \cdot 10^{-7}$ рад.

Для покращення відбивної здатності на кантилевер з боку, зворотного до вістря, наносять вакуумним осадженням покриття металу (Au, Al).

Слабкі пружні напруження, що виникають у кронштейні, реєструються з високою точністю (~ 1 нН), що дозволяє працювати з атомарною роздільною здатністю структури.

Ультратонкі (товщиною 60 нм) монокристалічні кантилевери, отримані у фірмі ІВМ, здатні реєструвати сили величиною навіть у 10^{-18} Н.

АСМ дозволяє отримувати зображення поверхні з точністю до ангстрему, що навіть вище за

точність СТМ, оскільки в АСМ відсутні жорсткі вимоги до близькості розташування зонда до досліджуваної поверхні.

У роботі АСМ, аналогічні СТМ, можлива реалізація різних режимів – контактного (вістря зонда безпосередньо контактує з поверхнею); безконтактного (зонд не торкається поверхні); режиму постійної сили взаємодії зонда із поверхнею; режиму постійної середньої відстані між вістря зонда та поверхнею.

Процес сканування може здійснюватися на повітрі, в деяких газах, у вакуумі і навіть крізь плівку рідини.

АСМ можуть бути також використані для вивчення не тільки структури, а й магнітних, електростатичних характеристик, адсорбційних властивостей та інших параметрів.

На основі атомно-силової мікроскопії створено велику різноманітність методів СЗМ – магнітно-силовий мікроскоп, скануючий тепловий мікроскоп, скануючий фрикційний мікроскоп, атомно-силовий акустичний мікроскоп тощо.

Однією з досить інформативних модифікацій АСМ є також тривимірний атомно-зондовий томограф, що дозволяє досліджувати як поверхню, так і глибинні шари матеріалу.

Скануюча оптична мікроскопія ближнього поля. На окрему увагу серед методів діагностування наноматеріалів заслуговує оптичний скануючий мікроскоп ближнього поля (СОМБП) [1].

Мікроскопи даного типу з роздільною здатністю $\lambda/20$ (λ – довжина хвилі світлового випромінювання, $\lambda = 0,4 \dots 0,8$ мкм) були створені в компанії ІВМ на початку 80-х років ХХ ст., у 1990-ті рр. роздільна здатність досягла $1/40$ довжини хвилі світла і сьогодні становить ~ 20 нм.

Підвищення роздільної здатності ближньопольового оптичного мікроскопа порівняно із звичайним оптичним досягається детектуванням розсіювання світла від об'єкта, що вивчається, на відстанях менших, ніж довжина світлової хвилі.

За принципом дії СОМБП схожий на тунельний мікроскоп СТМ, але в якості зонда застосовується надтонка «прозора голка» з оптичного волокна. При цьому фіксується зміна параметрів лазерного променя, що проходить по оптоволокну (рис. 5).

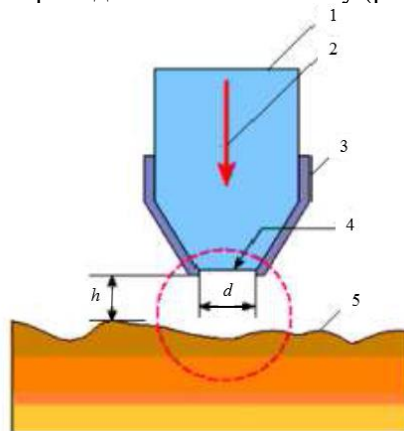


Рисунок 5 – Схема формування сигналу в СОМБП: 1 – загострене оптичне волокно; 2 – випромінювання, що проходить через зонд; 3 – металеве покриття; 4 – вихідна апертура зонда: $d \ll \lambda$; 5 – поверхня досліджуваного зразка; h – відстань між досліджуваною поверхнею та апертурою: $h \ll \lambda$ (пунктиром показана область близькопольового контакту)

Загострений зонд (оптоволокну) має отвір (діафрагму) діаметром у 10...100 разів менше довжини хвилі, що визначає дозвіл даних приладів.

Оптоволоконний зонд, що має діаметр менше довжини хвилі світла, підводиться впритул до досліджуваної поверхні для сканування. При цьому відстань становить менше довжини хвилі. Світлова хвиля не залишає межі хвилеводу, а лише трохи показується з його закінчення.

Принцип роботи СОМБП полягає в тому, що на дуже малих відстанях від поверхні в області ближнього поля виникають світлові хвилі, пов'язані з повним відображенням від поверхні, що опромінюється. Потужність випромінювання ближнього поля різко зменшується зі збільшенням відстані.

Дане випромінювання можна розглядати та реєструвати як незалежний відбитий промінь, використовуючи, наприклад, збираючу лінзу, і фотоелектронний помножувач. Метод дозволяє

сканувати поверхню зразка аналогічно СТМ, АСМ, а його роздільна здатність відповідає довжинам хвиль, що «зароджуються».

Роздільна відстань d , одержувана таким методом, досягає 10 ... 50 нм, що набагато перевершує аналогічний параметр традиційних оптичних мікроскопів ($d = 0,2...0,3$ мкм), однак у цьому плані СОМБП значно поступаються СТМ, АСМ. Перевагою даного методу є те, що при використанні світлових хвиль об'єкт не піддається руйнівній дії. У цьому і полягає відмінність від АСМ, у якому можливе механічне пошкодження досліджуваного зразка або електронної мікроскопії з іонізуючим опроміненням. Тому оптична мікроскопія ближнього поля добре підходить для дослідження різних біооб'єктів.

СОМБП є перспективним приладом для застосування в галузі оптичних пристроїв з високою щільністю запису інформації, а також для технологій оптичної обробки поверхні. У приладах останнього покоління чутливий фотоприймач та лазер розташовують на кінчику голки атомно-силового мікроскопа. Це дозволяє поєднати переваги двох методів.

Магнітно-силова мікроскопія. Досить поширеним методом СЗМ є також магнітно-силова мікроскопія. Популярність цього методу стимулюється перспективами його застосування для створення магнітних носіїв з великою щільністю запису інформації та можливим суттєвим зменшенням досягнутого дозволу у площині носія (кілька десятків нанометрів) за рахунок використання фізичної межі – оперування окремими електронними спінами (тобто власними моментами кількості руху елементарних частинок).

Особливістю МСМ є те, що зонд виконується з магнітного матеріалу (або має покриття з феромагнітного матеріалу), він «відчуває» локальну магнітну структуру зразка та дозволяє реєструвати малі магнітні поля та виконувати «реконструкцію» магнітного матеріалу.

Висновки. Для визначення енергетичних рівнів НО можливо використовувати тунельно-резонансний ефект, який виникає під час проходження електричного струму через наномодифікований матеріал, що володіє квантовими властивостями. Розробка методів, що дозволяють із достатньою точністю для технологічного контролю визначати вид та концентрацію наночастинок в полімерних наноконкомпозитах, а також кількість наномодифікатора, необхідну та достатню для появи у НПМ напівпровідникових властивостей, дає можливість здійснювати активний технологічний контроль процесу виробництва НПМ. Останній метод дозволить визначати нові нетрадиційні електрофізичні властивості синтезованих НПМ, а також оцінювати вплив імплантованих НО на зміну електрофізичних макровластивостей НПМ. Крім того, новий метод дозволить оптимізувати технологію синтезу НПМ через визначення мінімальної кількості наномодифікатора, достатньої для появи в НПМ напівпровідникових властивостей, що супроводжуються зміною електрофізичних параметрів наноконкомпозиту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Методи та засоби мікроскопії: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2017. – 336 с.
2. Мікроскопія в нанотехнологіях: монографія / Антонюк В.С. та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 260 с.
3. 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». Збірник статей. Випуск 17. м. Луцьк, грудень 2020 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. – С. 33–41.
4. Денисюк В.Ю. Метрологічне забезпечення вимірювань в скануючій силовій мікроскопії з використанням спеціалізованих зондів / Матеріали **IX-ої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління»**. м. Луцьк, **30 листопада 2021 року**. Випуск 9. – Луцьк: ЛНТУ, 2021. – С. 67 – 73.
5. Quate C.F. The Scanning probe microscopy as a tool nanotechnology. Spectroscopy and Related Proximal Probe Microscopy: Preliminary Proceeding of STM-99. 10th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy, 19–23 July, 2019, Seoul Korea, p. 1. and URL: <http://www-snf.stanford.edu/ScanningProbe> (дата звернення 21.09.2022).
6. Vettiger P., Despont M., Drechsler U. A highly parallel, very dense AFM-based Data Storage System. Spectroscopy and Related Proximal Probe Microscopy: Preliminary Proceeding of STM-99. 10 International Conference on Scanning Tunneling Microscopy, 19–23 July, 2019, Seoul Korea, p. 4. and URL: <http://www.zurich.ibm.com/news/99/n-19991013-milli.html> (дата звернення 21.09.2022).

УДК 621.313

В.В. Лишук, ст.гр. ЕЛ-21 Сверба В.О.

Луцький національний технічний університет

v.lyshuk@lntu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ

У статті запропоновано дослідження системи керування кроковим двигуном з допомогою мікроконтролерів та драйверів. Проаналізовано особливості крокових двигунів, їх схем керування побудованих на мостовому інверторі. Така система дає змогу керувати кроковим двигуном в різних режимах роботи, забезпечуючи високі роздільну здатність, точність позиціонування та крутний момент.

Ключові слова: мікроконтролер, драйвер, мостовий інвертор, кроковий двигун.

V. Lyshuk. Research of the stepper motor control system. The article proposes a study of the stepper motor control system using microcontrollers and drivers. The features of stepper motors and their control schemes built on a bridge inverter are analyzed. Such a system makes it possible to control the stepper motor in various operating modes, providing high resolution, positioning accuracy and torque.

Keywords: microcontroller, driver, bridge inverter, stepper motor.

Постановка проблеми. Крокові двигуни сьогодні можна знайти у багатьох пристроях та машинах, які використовуються як у побуті, так і в промисловості. Наприклад, годинники, принтери та високоточні верстати з ЧПУ з оснащені кроковими двигунами. Оскільки ці двигуни неможливо просто підключити до постійної напруги, то існує потреба керування ними.

Існуючі рішення або дорогі, або реалізовані за допомогою простих, переважно аналогових, компонентів, які обмежують можливості та продуктивність крокових двигунів. Завдяки інтелектуальному управлінню досягається більша швидкість, більший крутний момент та більш точне позиціонування.

У цій статті проаналізуємо можливість реалізації інтелектуального управління кроковими двигунами. Оскільки контроль поточного рівня відіграє елементарну роль у цій реалізації контролю, слідують математичні та контрольно-технічні похідні, які є основою практичної реалізації.

Крокові двигуни – це так звані синхронні двигуни, які можна покровоково повертати за допомогою обертового магнітного поля котушок статора.

Окрім можливості точного позиціонування ротора, крокові двигуни відповідно до [1] володіють іншими особливими властивостями:

1. безколекторні, що дає змогу підвищити надійність;
2. синхронні - крокові двигуни обертаються з заданою швидкістю незалежно від навантаження, поки не перевищується крутний максимальний момент, визначений заводом виготовлювачем специфічний для двигуна;
3. автономні некеровані (без систем керування). Якщо технічні характеристики крутного моменту не перевищені, то для визначення поточного положення ротора датчики не потрібні.
4. утримуючі крутний момент – крокові двигуни можуть утримувати певне навантаження, не змінюючи свого положення.

Крокові двигуни в основному поділяються на двигуни з постійними магнітами та гібридні крокові двигуни. Ротор крокового двигуна без збудження складається з зубчастого сердечника з м'якого заліза, що означає, що магнітне поле не може підтримуватися, якщо через котушки статора не протікає струм.

Режим роботи однаковий для цього типу крокових двигунів, оскільки система прагне досягти мінімального магнітного опору (збудження). Кроковий двигун без збудження не має крутного моменту при вимкненні через відсутність магнітного поля (рис.1.).

На сьогодні перевагу отримують двигуни з як найменшим кроком. Головною технічною характеристикою двигуна є мінімальний кут повороту валу (кутова роздільна властивість). Друга важлива характеристика – це утримуючий момент. Він визначає критичний крутний момент, при якому вал утримується в зайнятому положенні незважаючи на зовнішні навантаження, що діють на його вал.

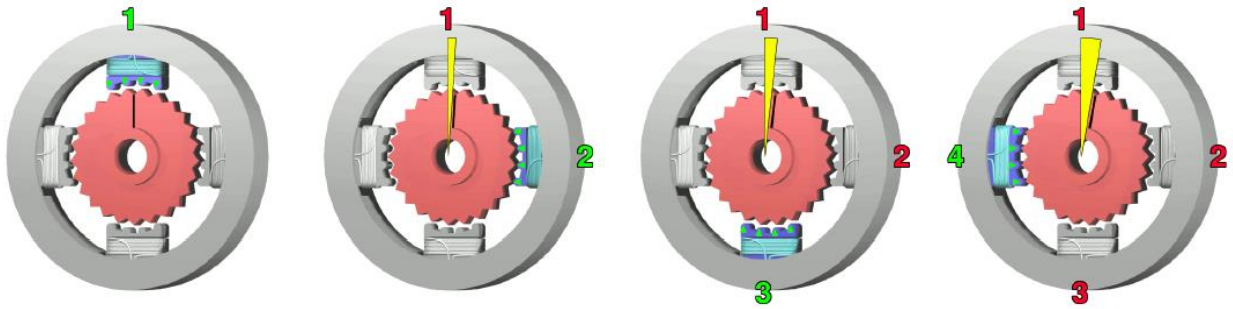


Рис. 1. Поперечний переріз крокового двигуна без збудження.

Крокові двигуни (КД) отримали широке застосування в промисловості завдяки високій точності виконання операцій і простоті управління. Ними оснащуються найрізноманітніші побутові і промислові пристрої, що працюють в старт-стопному режимі, наприклад роботизовані конвеєрні лінії, верстати з ЧПУ, 3D-принтери та інше обладнання. Не менш важливим питанням є правильний вибір схеми контролера й алгоритм його роботи [1,2].

Гібридні крокові двигуни можуть бути побудовані в уніполярній або біполярній конструкції та відрізнятися за електричним керуванням котушок статора.

Біполярні та уніполярні двигуни різняться способом подачі напруги на обмотки збудження та створення на статорі північних та південних магнітних полюсів. Перш ніж приступати до розробки системи керування кроковим двигуном, потрібно не тільки знати його тип, але й способи його живлення.

Біполярні крокові двигуни мають лише дві фази. Зміна полярності магнітних полів досягається шляхом зміни напрямку струму. Оскільки полярність двох електромагнітів потрібно змінити, потрібні дві мостові схеми з компонентами живлення.

Метою роботи є аналіз способів керування кроковими двигунами, схем контролерів і алгоритмів роботи. Як приклад наведено практичну реалізацію драйвера крокового двигуна.

Зрозуміло, що поряд з двигуном мусить працювати система керування, побудована на основі мікроконтролера. На рис.2. показано деякі прототипи крокових двигунів.



Рис.2. Зовнішній вигляд крокових двигунів.

Переваги крокових двигунів:

- кут повороту ротора визначається числом імпульсів, які подані на двигун;
- прецизійне позиціонування й повторюваність;
- можливість швидкого старту/зупинки/реверсування;
- висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток, термін служби крокового двигуна

фактично визначається терміном служби підшипників;

Недоліки крокових двигунів:

- кроковим двигунам властиве явище резонансу;
- можлива втрата контролю положення внаслідок роботи без зворотного зв'язку;
- невелика питома потужність;
- відносно складна схема керування.

Одним з головних переваг крокових двигунів є можливість здійснювати точне позиціонування й регулювання швидкості без датчика зворотного зв'язку. Це дуже важливо, тому що такі датчики можуть коштувати набагато більше самого двигуна. Однак це підходить тільки для систем, які працюють при малому прискоренні й з відносно постійним навантаженням. У той же час системи зі зворотним зв'язком здатні працювати з більшими прискореннями й навіть при змінному характері навантаження. Якщо навантаження крокового двигуна перевищить його момент, то інформація про положення ротора губиться й на систему діє кінцевий вимикач або інший датчик. Системи зі зворотним зв'язком не мають подібного недоліку [3, 4].

Основна частина. В даний час для керування КД в якості електронних перемикачів застосовують транзистори, а сигнали на перемикання генеруються цифровими інтегральними схемами або мікроконтролером.

Пристрій керування живленням біполярного крокового двигуна повинен забезпечувати проходження електричного струму через обмотки збудження як в прямому, так і в зворотному напрямках. Найпростіший спосіб виконання цього завдання полягає в використанні мостової схеми. Мостова схема управління будується на базі чотирьох перемикачів, виконаних на МОП-транзисторах, стан яких в строго заданих комбінаціях забезпечує подачу на двигун живлення з різними полярностями. Керування подачею напруг (сигналів) на обмотки характеризується наявністю чотирьох МОП-транзисторів, що призначені для зміни полярності струму в котушках, побудованих на Н-містках (рис.3).

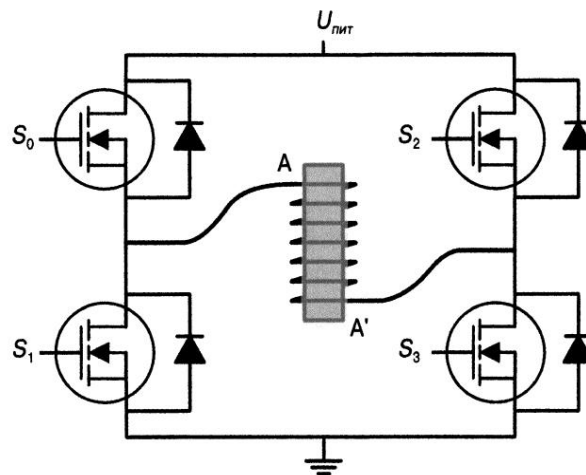


Рис.3. Керування струмом однієї фази біполярного двигуна за допомогою Н-містка.

Комутація електричного струму, що проходить через обмотки фази (А-А'), здійснюється подачею напруги на затвори МОП-транзисторів. Висока напруга на затворах S0 і S3 при низькій напрузі на затворах S1 і S2 забезпечує протікання струму в напрямку від А до А'. Тим самим вивід А стає північним полюсом, а А' – південним полюсом статора. При подачі високої напруги на затвори S1 і S2, а низької напруги – на затвори S0 і S3, струм протікає від А' до А, що робить А' північним полюсом, а А – південним. Якщо ж низьку напругу подати на затвори S1 і S2, то струм взагалі не буде протікати через обмотки.

Вихідні сигнали мікроконтролера подаються на входи силового інвертора (комутатора), який управляє ввімкненням обмоток крокового двигуна. Обмотку крокового двигуна представляють на схемі заміщення послідовним з'єднанням індуктивності і резистора. Як відомо, при обертанні ротора в обмотках двигуна виникає ЕРС.

Драйвер крокового двигуна повинен вирішувати два основні завдання:

- формування необхідних часових послідовностей сигналів;
- забезпечення необхідного струму в обмотках.

В інтегральних реалізаціях, як правило, ці завдання виконуються різними мікросхемами. Прикладом може служити комплект мікросхем L297 і L298 фірми SGS-Thomson. Мікросхема L297 містить логічні схеми для формування часових послідовностей, а L298 являє собою потужний здвоєний Н-міст. Необхідно відзначити, що останнім часом всі частіше контролер і драйвер поєднуються в одній мікросхемі.

Найпростіший драйвер потрібен для керування обмотками уніполярного двигуна. Для цього підходять найпростіші ключі, у якості яких можуть бути використані біполярні або польові

транзистори. Досить ефективні потужні MOS-транзистори, керовані логічним рівнем, такі як IRLZ34, IRLZ44, IRL540. У них опір у відкритому стані менш 0.1 Ом і припустимий струм порядку 30А.

Мостові драйвери в інтегральному виконанні випускаються багатьма фірмами. Прикладом можуть служити L293 і L298 фірми SGS-Thomson [4, 5].

Як прості ключі, так і Н-мости можуть становити частину ключового стабілізатора струму. Схема керування ключами може бути виконана на дискретних компонентах або у вигляді спеціалізованої мікросхеми. Досить популярним пристроєм, що реалізує ШІМ-стабілізацію струму, є мікросхема L297 фірми SGS-Thomson. Разом з мікросхемою мостового драйвера L293 або L298 вони утворюють систему керування кроковим двигуном (рис.4).

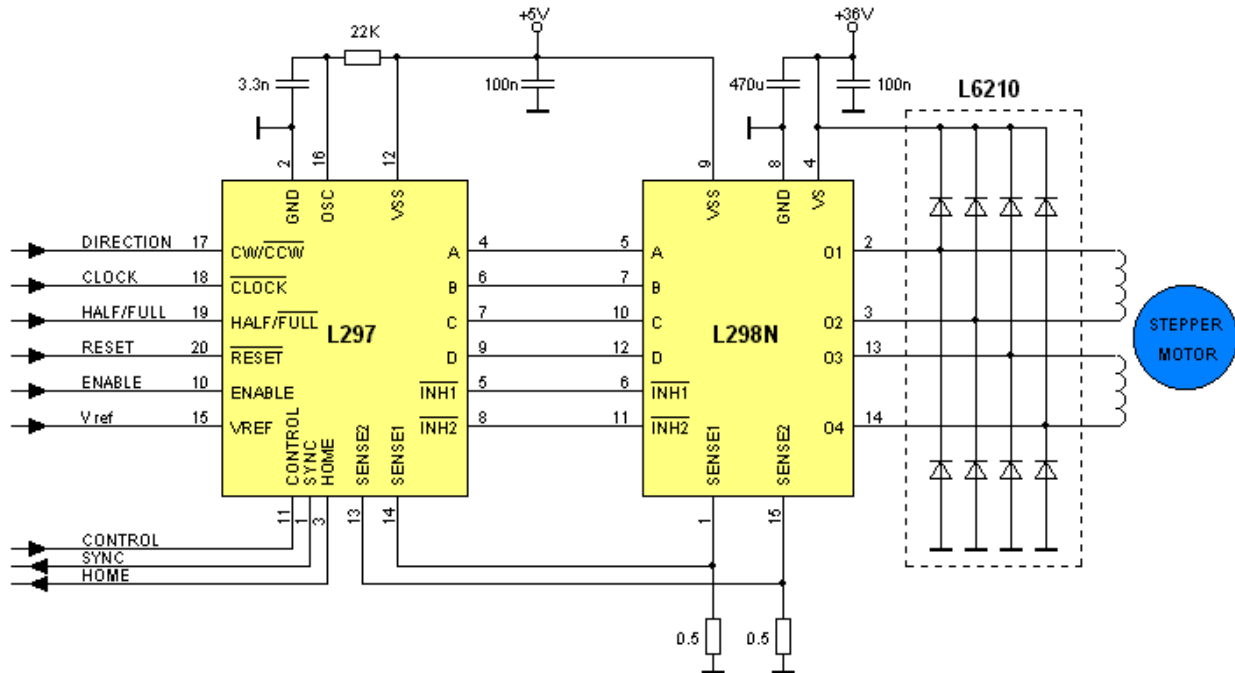


Рис.4. Типова схема включення мікросхем L297 і L298N

Ключове регулювання реалізують і багато інших мікросхем. Деякі мікросхеми мають ті або інші особливості, наприклад драйвер LMD18T245 фірми National Semiconductor не вимагає застосування зовнішнього датчика струму, тому що він реалізований всередині на основі одного осередку ключового MOS-транзистора. Деякі мікросхеми призначені спеціально для роботи в мікрокроковому режимі. Прикладом може служити мікросхема A3955 фірми Allegro.

Висновки. У роботі проведено аналіз способів і методів керування гібридними кроковими двигунами за допомогою мікроконтролера. Обґрунтовано фізичні основи керування обмотками крокових двигунів. Система керування кроковим двигуном забезпечує широкий вибір режимів роботи крокового двигуна. Запропонований контролер реалізує повнокроковий, півкроковий та мікрокроковий режими функціонування двигуна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Воробйова О. М., Іванченко В. Д. Основи схемотехніки: підручник / О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко. – Одеса: Фенікс, 2009. – 388 с.
2. Електричні машини та електропривод побутової техніки: Підручник /М.Г. Попович, Л.Ф. Артеменко, О.П. Бурмістренков та ін.; За ред. Д.Б. Головка, М.Г. Поповича. – 2-ге вид., стереотип. – К.: Либідь, 2004. – 352 с.
3. Красников В.М. та ін. Електричні мікромашини: Навч. посібник для технікумів/ В.М. Красников, А.В. Новиков, Г.М. Бладзевич. – Київ: Вища школа, 1970. – 264 с.
4. Ридико Л. Управление шаговыми двигателями / Л. Ридико // "Основы схемотехники". №6-7/2001.
5. <https://microchipinf.com/ua/articles/55/723>.

УДК 62-83:681.5

О.С. Назарова, В.В. Осадчий, В.В. Брилистий, С.С. Шульженко, М.О. Олєйніков, І.А. Мелешко, Б.Ю. Рудім

Національний університет «Запорізька політехніка»

E-mail: nazarova16@gmail.com

ІННОВАЦІЙНІ ФОРМИ РОБОТИ ЗІ ЗДОБУВАЧАМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ПРАКТИЧНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ У ГАЛУЗЯХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

В даній роботі розглядається задача пошуку інноваційних форм роботи зі здобувачами вищої освіти для розширення практичних компетентностей у галузях електричної інженерії та автоматизації. Ефективне поєднання традиційних методів навчання (лекції, лабораторні заняття) з інноваційними та інтерактивними сприяють формуванню усебічно розвинутого фахівця у своїй галузі. Залучення здобувачів вищої освіти до розробки та удосконалення лабораторного обладнання, яке можна використовувати у навчальному процесі та для організації науково-дослідної роботи, розширює їх творчі та практичні компетентності, підвищуючи їх рівень конкурентоспроможності при подальшому виборі місця роботи.

Ключові слова: інновації, здобувачі вищої освіти, практичні компетентності, електрична інженерія, автоматизація, лабораторне обладнання, моделювання.

O.S. Nazarova, V.V. Osadchy, V.V. Brylysty, S.S. Shulzhenko, M.O. Olieinikov, I.A. Meleshko, B.Yu. Rudim. Innovative forms of working with students of higher education to expand practical competences in the fields of electrical engineering and automation.

This paper examines the task of finding innovative forms of work with higher education graduates to expand practical competencies in the fields of electrical engineering and automation. An effective combination of traditional teaching methods (lectures, laboratory classes) with innovative and interactive ones contribute to the formation of a comprehensively developed specialist in his field. Involvement of higher education students in the development and improvement of laboratory equipment, which can be used in the educational process and for the organization of research work, expands their creative and practical competences, increasing their level of competitiveness when choosing a place of work.

Key words: innovations, higher education students, practical competences, electrical engineering, automation, laboratory equipment, modeling.

Постановка проблеми. Ефективність вищої освіти залежить від уміння викладача правильно обрати методи, прийоми і форми навчання з урахуванням особливостей освітнього середовища. Відомо, що основною формою навчання у вищому навчальному закладі є лекція [1]. Однак вона у більшості випадків має переважно теоретичний характер, що обумовлює необхідність проведення практичних або лабораторних занять, за допомогою яких здобувачі освіти отримують практичні навички, що є досить важливим, особливо для фахівців технічних галузей. Проте, лабораторне обладнання не завжди встигає оновлюватися, враховуючи безупинний розвиток технологій. Тому актуальним є залучення здобувачів вищої освіти до розробки такого лабораторного обладнання, яке можна використовувати у навчальному процесі та для організації науково-дослідної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми.

Здатність підтвердити володіння знаннями, умінями та навичками на практиці у того чи іншого працівника поступово витісняє перевагу наявності документа про вищу освіту у претендента на робоче місце. Тому для підготовки кваліфікованих кадрів необхідно змінити вимоги на етапі навчання, використовувати нові моделі навчання та інноваційні методики [2].

Сутність процесу нововведень у технології і методи сучасного навчання стали об'єктом дослідження як зарубіжних, так і українських учених [3]. «Інновації – це новостворені і вдосконалені конкурентоздатні технології, продукція або послуги...» [4]. Отже, впровадження у освітню практику оригінальних, новаторських форм навчання, які мають студентоцентричний підхід, є запорукою розширення творчих здібностей, поглиблення теоретичних знань та значного розширення практичних навичок здобувача вищої освіти усіх рівнів. Ефективне поєднання традиційних методів навчання (лекції, лабораторні заняття) з інноваційними та інтерактивними сприяють формуванню усебічно розвинутого фахівця у своїй галузі [5].

Нааявність сучасних лабораторних стендів та апаратних засобів навчання є запорукою якісного викладання технічних дисциплін та отримання студентами практичних навичок роботи з обладнанням, що іде в ногу із часом. Досвід розробки спеціалізованих лабораторних стендів та лабораторних комплексів з використанням віртуальної частини досить поширений [6, 7]. Функції лабораторних стендів розширюються шляхом доповнення функціями тестування алгоритмів керування [8], можливостями варіювання конфігурації компонентів схем, вимірювальних пристроїв [9], оснащенням автоматизованою системою контролю за виконанням лабораторних робіт [10], [11]. Отже, залучення здобувачів освіти до удосконалення та розробки лабораторного обладнання розширює їх творчі та практичні компетентності, підвищуючи їх рівень конкурентоспроможності при подальшому виборі місця роботи.

Мета роботи – пошук інноваційних форм роботи зі здобувачами вищої освіти для розширення практичних компетентностей у галузях електричної інженерії та автоматизації.

Одним із прикладів ефективної участі здобувачів освіти у створенні лабораторного обладнання є стенд, який дозволяє досліджувати алгоритми керування рівнем рідини з урахуванням особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки (рис. 1, а). Використання лабораторного стенда з адекватною йому імітаційною моделлю, що є комплексним інструментом з розробки, налагодження та оцінки ефективності систем керування рівнем рідини, дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань [12]. Студенти, теперішні випускники та аспіранти, вирішували нестандартні фахові завдання при розробці та налагодженні цього лабораторного стенда, а теперішні студенти вивчають розімкнені та замкнені системи автоматичного керування на його основі, розробляють математичні моделі, які адекватні фізичному об'єкту, для перевірки працездатності та дослідження показників якості нових або модернізованих систем автоматичного керування рівнем рідини на основі розробленого лабораторного обладнання.

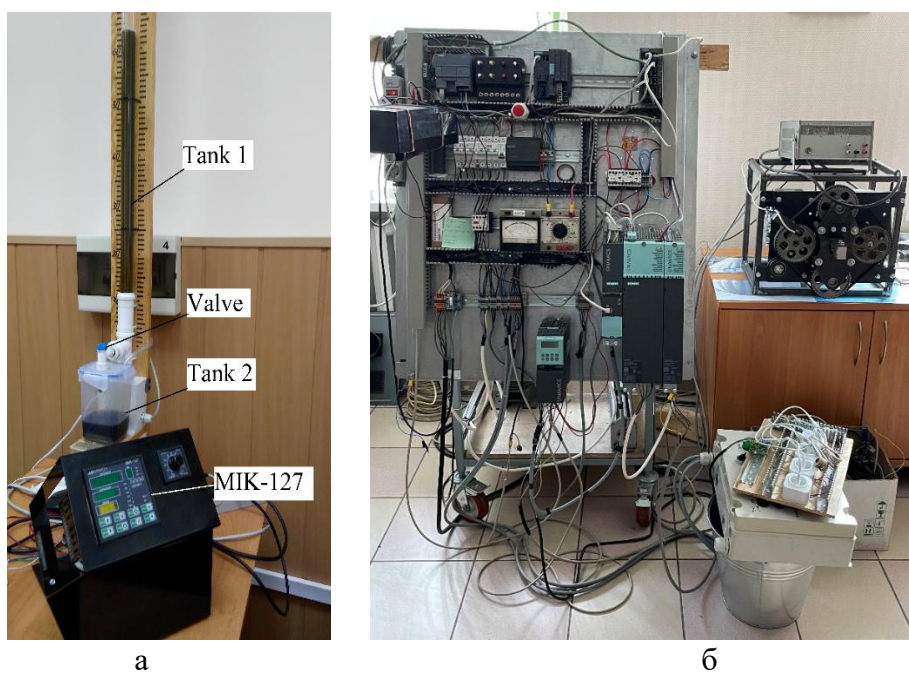


Рисунок 1 – Фото розроблених лабораторних стендів: керування рівнем рідини (а), дослідження енергетичних характеристик електромобіля

Досить часто трапляється, що здобувачам освіти відмовляють у проведенні експериментів на реальному обладнанні через підвищену небезпеку або суттєву вартість експерименту [13]. Тоді стає у пригоді математичне або фізичне моделювання, що дозволяє дослідити нові системи автоматичного керування, наприклад, позиціонуванням двошвидкісного ліфта з урахуванням напруги живлення та ідентифікації ступеня завантаження кабіни ліфта [14, 15] (рис.2).

При виконанні дисертаційного дослідження перед здобувачем освіти часто постає проблема проведення експерименту щодо отримання даних про певний параметр об'єкта дослідження. Тоді стає доречним розроблення стенду, наприклад, дослідження енергетичних характеристик електроприводу транспортного засобу (рис. 1, б), що дозволяє вимірювати споживану частотним приводом електричну потужність, при варіюванні частоти обертання валу двигуна і моменту, що

створюється ним. На підставі отриманих даних, побудовано сімейство кривих, що описують залежність ККД від моменту для фіксованої частоти обертання [16, 17].

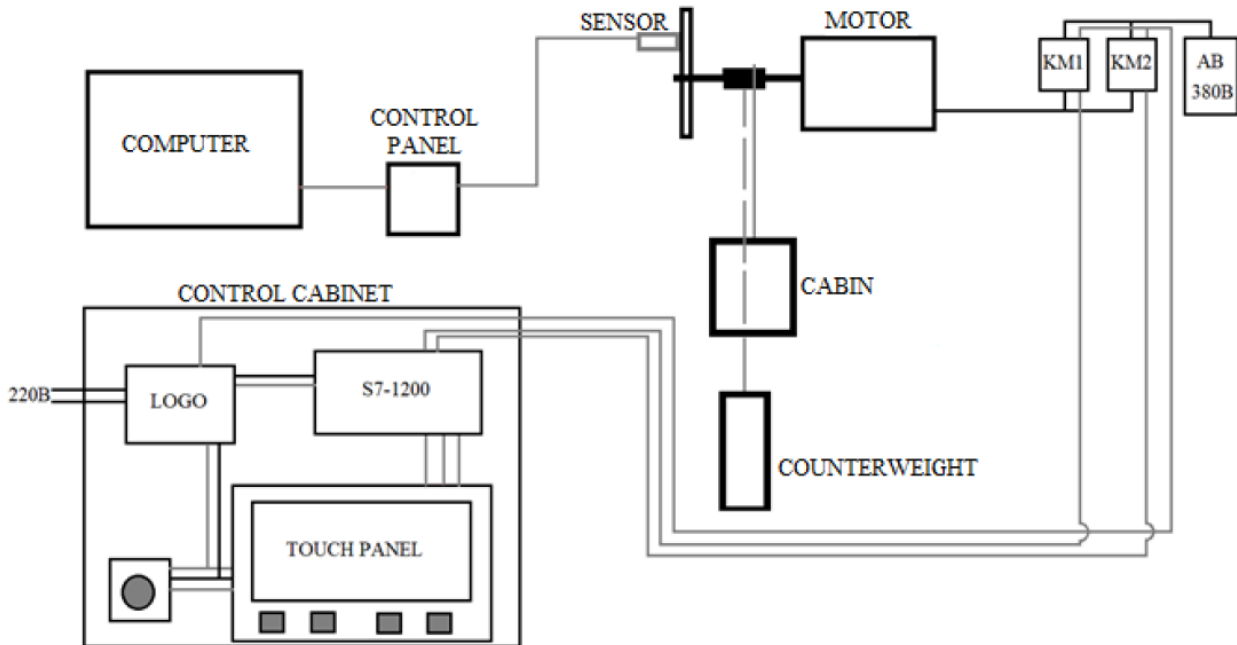


Рисунок 2 – Структурна схема лабораторного стенда для дослідження систем автоматичного керування позиціонуванням двовидкісного ліфта

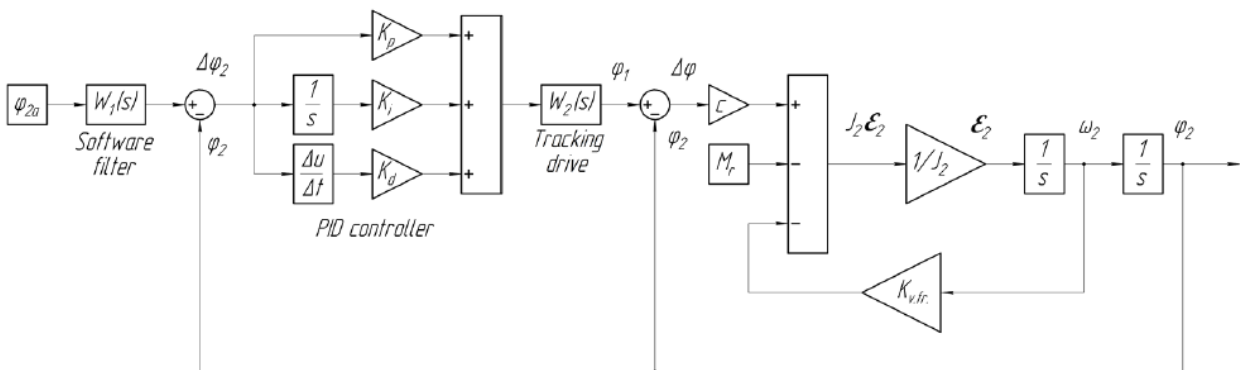


Рисунок 3 – Математична модель двомасової системи позиційного електропривода

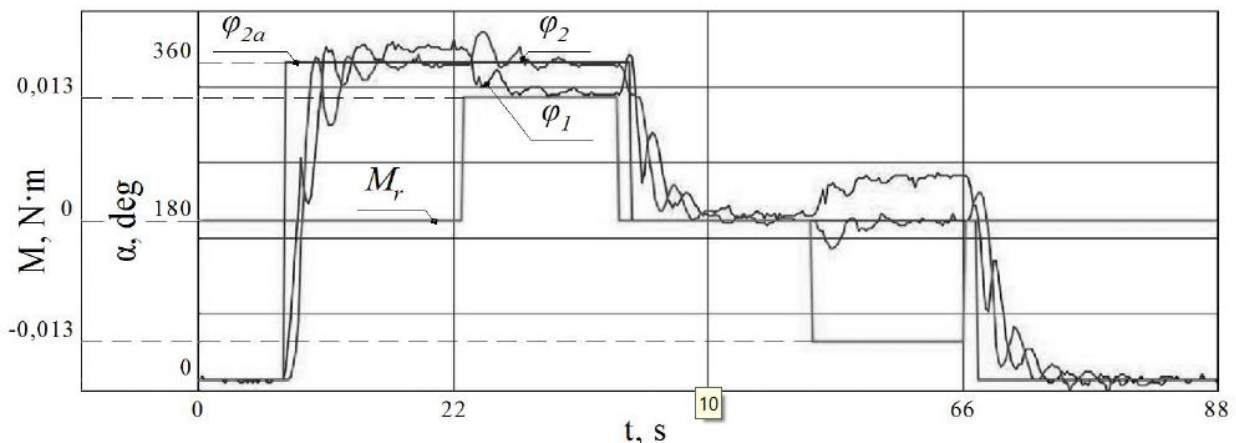


Рисунок 4 – Перехідні процеси фізичного об'єкта

При вивченні та дослідженні об'єктів, що об'єднані певними властивостями або мають аналогічну структуру, використання математичних або комп'ютерних моделей розширює

можливості для експериментів, зменшуючи ризики і вартість на їх проведення. Наприклад, розроблена математична модель позиційного приводу двомасової системи (рис.3), адекватність якої підтверджується фізичними експериментами, може використовуватись для практичного методу налаштування ПІД-регулятора, що дозволить забезпечити бажані статичні та динамічні характеристики системи, скоротити час налаштування та знизити ризики пошкодження фізичного об'єкту в процесі налагодження [18] (рис. 4).

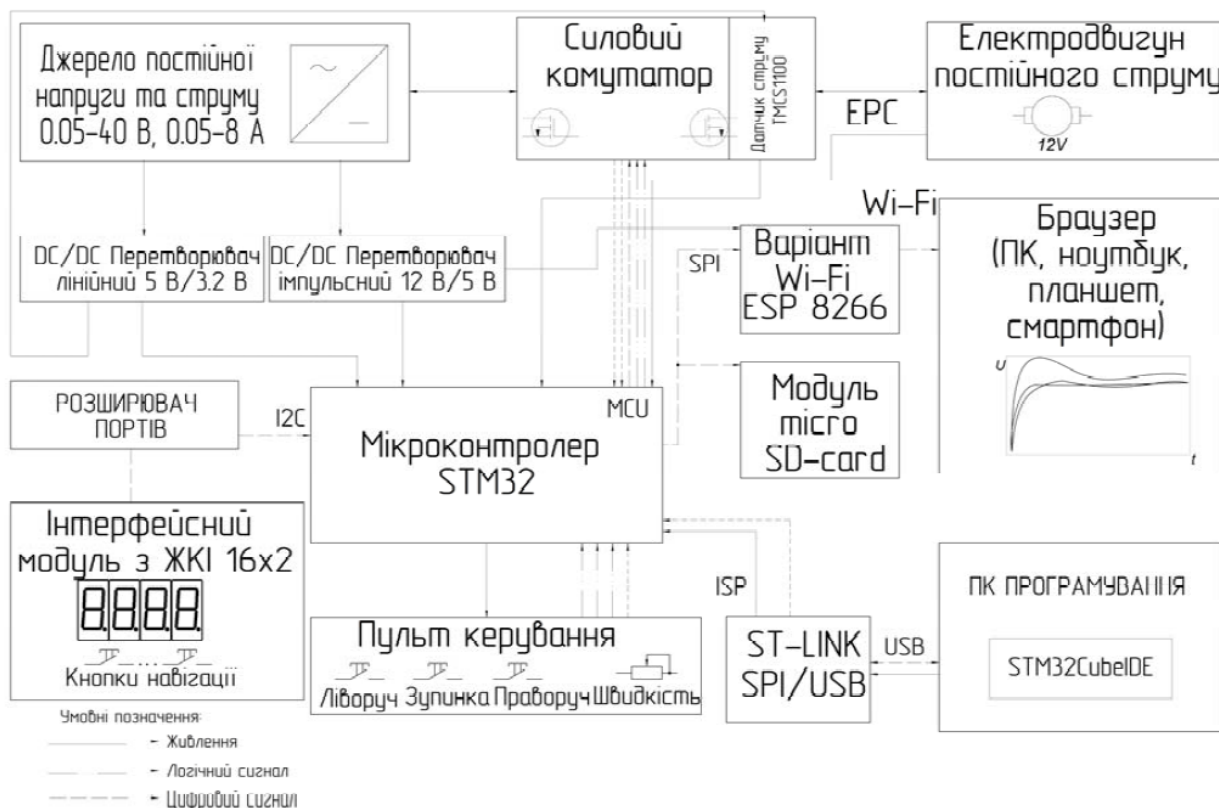


Рисунок 5 - Схема електрична функціональна лабораторного стенду з бездротовим інтерфейсом для вивчення та дослідження систем автоматичного керування електроприводами постійного струму

Однією з нових технологій є технологія поєднання віртуальних і дистанційних приладів, яка дозволяє створювати системи вимірювання, дослідження та керування з можливістю дистанційного підключення. Зважаючи на складну ситуацію у світі із захворюваністю COVID-19, більшість навчальних закладів було вимушено впровадити у повному або змішаному форматі дистанційну форму навчання, що вплинуло на можливість студентів у повній мірі скористатися лабораторними засобами, які задіяні у навчальному процесі. Тому розробка і впровадження бездротових і дистанційних технологій розширить можливості здобувати якісні знання для студентів [19] (рис.5).

Висновки. Використання у навчальному процесі сучасного дослідницького обладнання сприяє підготовці не тільки освічених фахівців, але й людей, які здатні творчо мислити, швидко реагувати на певні нестандартні ситуації, вони постійно удосконалюють свої знання і використовують їх у практичній діяльності. Залучення здобувачів вищої освіти до розробки навчального та дослідницького обладнання у галузях електричної інженерії та автоматизації сприяє розширенню їх практичних компетентностей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Мачинська, Н.І. Сучасні форми організації навчального процесу у вищій школі: навчально-методичний посібник. / Н.І. Мачинська, С.С. Стельмах - Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2012. - 180 с.
2. Kolesnikova, K. V. The Role of a Higher Education Diploma in the Professional Career of the Specialist in the Future / K. V. Kolesnikova, D. V. Lukianov, T. M. Olekh // Applied Aspects of Information Technology, 2020. - Vol. 3. - No. 1. - С. 456–466. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.01.2020.7>

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

3. Бистрова, Ю. В Інноваційні методи навчання у вищій школі України / Ю. В. Бистрова // Право та інноваційне суспільство, 2015. - № 1 (4). - С. 27-33.
4. Закон України «Про інноваційну діяльність». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text>
5. Козлова, Г.М. Методика викладання у вищій школі: Навчальний посібник. / Г.М. Козлова - Одеса, ОНЕУ, Ротапринт, 2014. - 200 с.
6. Chornyi O.P. A virtual complex with the parametric adjustment to electromechanical system parameters / O.P. Chornyi, S.A. Serhiienko // *Tekhnichna elektrodynamika*, 2019. - No 1. - P. 38–41. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2019.01.038>
7. Levinzon S. V. Use of the modern stand equipment in the educational process in the course «electrical engineering» / S. V. Levinzon, N. V. Tsarkova, D. V. Melnikov // 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Cluj-Napoca, Romania. – 2014. - P. 1-4. doi: 10.1109/UPEC.2014.6934714.
8. Wojtulewicz, A. Multiple-input multiple-output laboratory stand for process control education / A. Wojtulewicz, P. Chaber, M. Ławryńczuk // 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2016. – P. 466-471. doi: 10.1109/MMAR.2016.7575180.
9. Michaeli, L. Remote access cost effective measurement stand for teaching basic electronic circuits / L. Michaeli, M. Godla, J. Šaliga // *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, 2011. - P. 188-191. doi:10.1109/IDAACS.2011.6072737.
10. Antipin, A. S. Electroenergetical training laboratory with remote access to stands / A. S. Antipin, V. E. Frizen, V. N. Udintcev, S. L. Nazarov // 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 2017. - P. 170-173. doi: 10.1109/ELMA.2017.7955425.
11. Asumadu, J. A. A Web-based electrical and electronics remote wiring and measurement laboratory (RwmLAB) instrument / J. A. Asumadu // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2005. - Vol. 54. - No. 1. - P. 38-44. doi: 10.1109/TIM.2004.834597.
12. Osadchyy, V. Laboratory Stand for Investigation of Liquid Level Microprocessor Control Systems / V. Osadchyy, O. Nazarova // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), 2020. - P. 1-4, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240868.
13. Nazarova, O.S. Experimental research and computer modeling of the obstruction occurrence in the pneumatic conveying systems peculiarities / O.S. Nazarova, I.A. Meleshko // *Herald of Advanced Information Technology*, 2020. - Vol.3. - No.1. - P. 428–439. DOI: 10.15276/hait.01.2020.9
14. Nazarova, O. Influence of Supply Voltage on the Accuracy of Two-Speed Elevator Positioning / O. Nazarova, V. Osadchyy, S. Shulzhenko // 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. - pp. 1-4, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598664.
15. Nazarova, O. S. Computer modeling of electromechanical system of two-speed elevator / O.S. Nazarova, V. V. Osadchyy, S. S. Shulzhenko // *Herald of Advanced Information Technology*, 2022. – № 5(2). – P. 133–142. <https://doi.org/10.15276/hait.05.2022.11>
16. Osadchyy, V. Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives / V. Osadchyy, O. Nazarova, V. Brylysty // 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. - pp. 1-4, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598661.
17. Брилистий, В.В. Вимірювання крутного моменту для дослідження енергетичних характеристик приводів електромобілей / В.В. Брилистий, О.С. Назарова, В.В. Осадчий // *Електротехніка та електроенергетика*, 2021. - №4. - С. 36–44. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-4-4>
18. Osadchyy, V. The Research of a Two-Mass System with a PID Controller, Considering the Control Object Identification / V. Osadchyy, O. Nazarova and M. Olieinikov // 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. - pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598542.
19. 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>

УДК 004.4'24:681.5.015.23

М.А. Ракуцький, Л.Ю. Федік

Луцький національний технічний університет

fedikltsia@gmail.com

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЙОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті викладено актуальність вибору об'єкта дослідження. Описано етапи проектування автоматизованої системи управління технологічним процесом. Досліджено стадії виготовлення цукру з цукрового буряку та описаний технологічний процес. Крім того подано параметри технологічного процесу для виготовлення високоякісного цукру. Викладено вимоги до системи автоматизованого управління технологічним процесом його виробництва та вибрано контролюючі та регулюючі параметри процесу. Зазначено перспективи подальшого дослідження.

Ключові слова: цукор, технологічний процес, параметр, управління, автоматизація.

M.A. Rakutsky, L.Yu. Fedik. Analysis of the technological process of sugar production as a control object in the automation of the production process. The article describes the relevance of the choice of the object of study. The stages of designing an automated process control system are described. The stages of sugar production from sugar beets are investigated and the technological process is described. In addition, the parameters of the technological process for the manufacture of high-quality sugar are presented. The requirements for the system of automated control of the technological process of its production are stated and the controlling and regulating parameters of the process are selected. Prospects for further research are indicated.

Key words: sugar, technological process, parameter, control, automation.

Постановка проблеми. Цукор широко використовують як сировину для багатьох харчових виробництв, оскільки він є одним із найважливіших високоякісних харчових продуктів. А глюкоза, є життєво необхідною речовиною для функціонування тіла і мозку людини, та є джерелом тепла і енергії, що забезпечують нормальне функціонування всіх процесів життєдіяльності людини. Збільшити кількість цукру і знизити його собівартість можна завдяки широкому впровадженню сучасних систем керування обладнанням. Це дозволить покращити точність вимірювання та регулювання технологічних параметрів, значно знизить собівартість і скоротить кількість зайнятого персоналу; а також збільшить надійність обладнання завдяки швидкості обробки даних про відхилення та коливання технологічних параметрів щодо допустимих меж [1-2].

Під час проектування будь якої автоматизованої системи управління технологічним процесом вирізняють два етапи: передпроектні роботи і безпосереднє проектування.

Згідно ГОСТ 34.201-89 «Виды. Комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем», до передпроектної стадії відносяться процеси: формування вимог до АСУ, розроблення її концепції і технічне завдання. Зокрема, під час першої стадії здійснюється обстеження об'єкта та обґрунтування необхідності створення автоматизованої системи управління, шляхом збирання даних про об'єкт, з'ясовується можливість застосування засобів автоматизації для вирішення існуючих на об'єкті проблем і ін.

Отже, під час розробки автоматизованої схеми управління виробництвом цукру виникає необхідність у аналізі технологічного процесу, як об'єкта керування та технічній характеристиці об'єкта автоматизації [3-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми. Дослідження процесу виробництва цукру проводили такі вчені, як: Мельник Н.Г. (1995), Кузьменко Б.В. (1995), Цимбал А.С. (1999), Петрикович Ю.Я. (1999), Гречка В.В. (2003), Крамар В.Г. (2003), Прокопенко Т.О. (2004), Гусятинський М.В. (2006), Буравченко Р.В. (2006), Паламарчук Н.І. (2007). Проте, як об'єкт управління під час автоматизації виробництва технологічний процес не розглядався.

Цілями статті (постановкою завдання) є аналіз технологічного процесу виробництва цукру для обґрунтування завдань його автоматизації.

Виклад матеріалів дослідження. Сировиною для виробництва цукру є рослини з високим вмістом цукру: цукрова тростина, цукрові буряки, цукрове сорго, цукровмісний клен і інші.

Основною сировиною для виробництва цукру в Україні, а також у Європі та інших країнах із помірним кліматом, є цукрові буряки. Цукор, який міститься в буряках має назву цукроза. Вона належить до групи вуглеводів, як і глюкоза, фруктоза, крохмаль і інші речовини, що становлять більшу частину (близько 70 %) харчування людини [5].

Технологічний процес виготовлення цукру з цукрового буряку можна поділити на такі стадії як: подача та очищення буряків від домішок, одержання дифузійного соку з бурякової стружки, очищення дифузійного соку, згущення соку випарюванням, кристалізація та центрифугування, сушіння, охолодження та зберігання.

Цукровий буряк на переробному заводі гідравлічним транспортером 1, рис. 1, піднімається на висоту до 20 м. Вздовж нього послідовно встановлені вловлювач бадилля 2, вловлювач каменю 4 і роздільники води 5. Для кращого вловлювання соломи і бадилля в поглиблення 3 подається повітря. Цукрові буряки після роздільників води надходять у мийну машину 6, для очищення від бруду, піску та інших домішок. Під час транспортування чи процедури очищення, до стічних вод можуть потрапляти дрібні коренеплоди чи їх частинки, тому перед повторним використанням води її пропускають через сепаратор, звідки сировина після додаткової обробки потрапляє на конвеєр 14. Очищений буряк омивається душовими пристроями 7, а елеватором 8 і конвеєром 9 переміщується до електромагніту 10, який вловлює металеві домішки. Після зважування на вагах 11, цукровий буряк направляють з бункера 12 у бурякорізки 13. Утворена бурякова стружка, за допомогою стрічкового конвеєра 14, на якому встановлені конвеєрні ваги, подається у дифузійну установку 15. В середині установки, під дією гарячої води, з клітин буряка виділяється буряковий сік із високим вмістом цукру, який називають дифузійним соком. Завдяки конвеєру 16 утворений жом виводиться для пресування, сушіння та брикетування, а дифузійний сік пропускається через фільтр 17, нагрівається у пристрої 18 і подається в апарати попередньої та основної дефекації 19. Для очищення дифузійного соку від різних домішок, у нього вводиться вапнякове молоко. Сік дефекації подається в котел першої сатурації 20, де додатково очищується. Сік першої сатурації подається через підігрівач 21 у гравітаційний відстійник 22. У ньому сік поділяється на освітлену і згущену суспензію, що надходить до вакуум-фільтрів 23. Відфільтрований сік першої сатурації направляється в апарат другої сатурації 24, де з нього відділяється вапно, а сік другої сатурації подається на фільтри 25. Відфільтрований сік подається в котел сульфатації 26. Сульфатований сік направляють на станцію фільтрів 27, а потім транспортують у перший корпус випарної станції 28, для послідовного згущення очищеного соку до концентрації густого сиропу. Отриманий сироп направляють у сульфататор 29, а потім на станцію фільтрації 30. Відфільтрований сироп підігрівається в підігрівачі 31, звідки надходить у вакуум-апарати 32. У них сироп уварюється до отримання утфеля першої кристалізації. Далі він надходить до утфелемішалки 33, звідки його направляють у центрифуги 34, де під дією відцентрової сили кристали цукру відокремлюються від міжкристалічної рідини, першого відтоку. Щоб отримати з центрифуги білий цукор, його кристали промивають невеликою кількістю гарячої води – відбілюють. Під час відбілювання частина цукру розчиняється, тому з центрифуги відходить відтік більш високої чистоти – другий відтік. Другий і перший відтоки подають у вакуум-апарат, де отримують утфель другої кристалізації. Цей утфель поступово охолоджують до температури 40 °С під час перемішування в утфелемішалках.

Після цього, утфель другої кристалізації направляється в центрифуги, де від кристалів цукру відокремлюється меляса - відход цукрового виробництва. Білий цукор, який вивантажується з центрифуг 34, потрапляє на віброконвеєр 35 і транспортується в сушильно-охолоджувальну установку 36. Після сушіння цукор-пісок надходить на ваговий стрічковий конвеєр 37 і далі на вібросито 38. Готовий цукор надходить в силосні башти 39 [4-8].

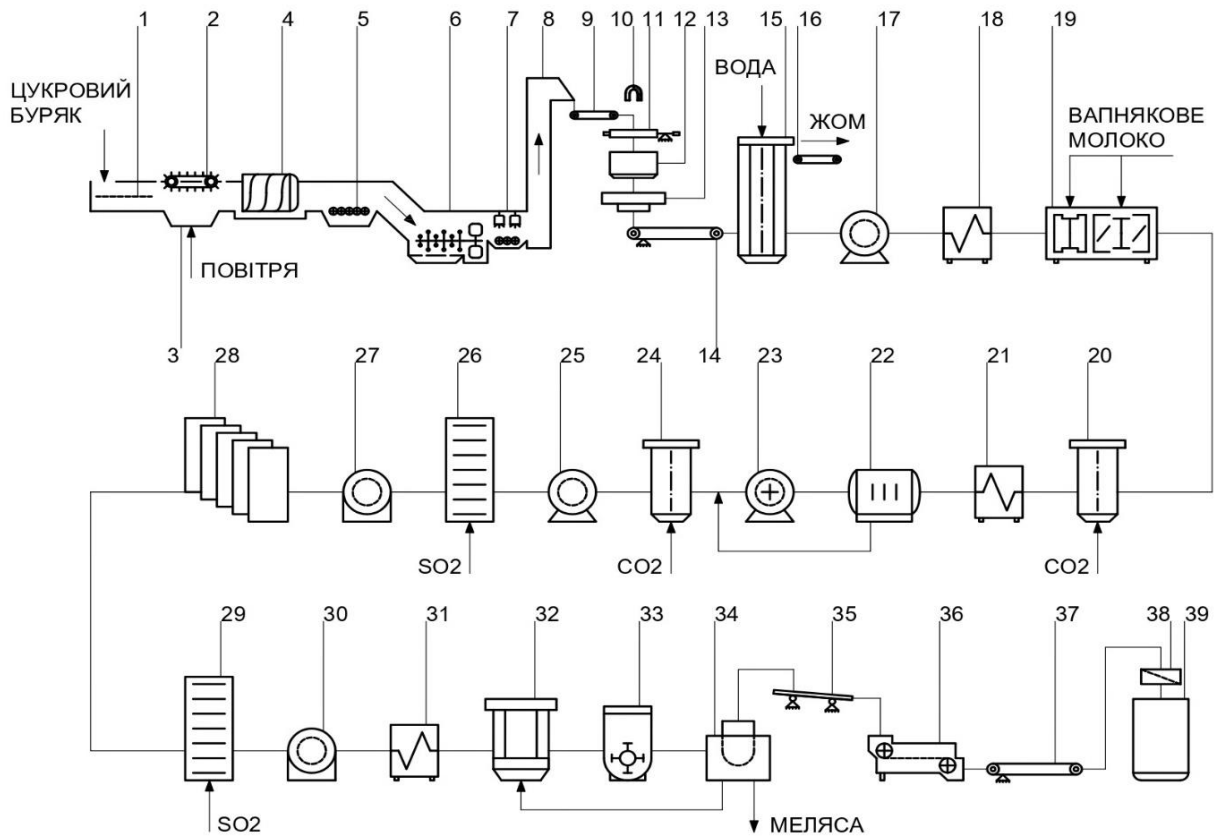


Рис. 1. Схема технологічного процесу виробництва цукру

Для виготовлення високоякісного цукру слід дотримуватися параметрів технологічного процесу, які наведені в таблиці 1 [4-5].

Таблиця 1.

Параметри технологічного процесу виробництва цукру

№ з/п	Параметр, що контролюється	Одиниці вимірювання	Допустимі межі	Відхилення
1	Частота обертання мийки	об/хв	15-20	± 2
2	Частота обертання на вихідному валу мийки	об/хв	6-8	± 1
3	Час одержання дифузійного соку	хв	70-80	± 3
4	Температура води під час одержання дифузійного соку	°С	70-75	± 2,5
5	Час дефекації	хв	8-10	± 1
6	Час сульфитації	хв	1-5	± 1
7	Температура соку під час сульфитації	°С	85-90	± 2,5
8	Час сатурації	хв	8-10	± 1
9	Температура соку під час сатурації	°С	85-90	± 2,5
10	Температура соку під фільтрування	°С	90-95	± 2,5
11	Час уварювання сиропу	год	2,5 – 4	± 0,25
12	Концентрація цукру в утфелі	%	92,5 – 93,5	± 0,05

Висновки. Отже, згідно аналізу технологічного процесу виробництва цукру можна виділити, що виробнича лінія складається з великої кількості агрегатів різного типу; очищення сировини та фільтрування проміжного продукту від домішок є важливим етапом процесу, а концентрація, температура та час є основними контролюючими параметрами виробництва.

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

Під час розробки системи автоматизованого управління основним завданням є вибір контролюючих та регулюючих параметрів технологічного процесу. До регулюючих параметрів технологічного процесу виробництва цукру слід віднести: температуру води що подається у дифузійну установку, температуру бурякового соку під час сульфитації, сатурації та фільтрування, концентрацію цукру в утфелі під час уварювання у вакуум-апаратах; а до контролюючих - частоту обертання валів у мийці, час роботи установок дефекації, сульфитації та сатурації.

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 контролера, проведення економічних розрахунків доцільності впровадження автоматизації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Навіщо організму потрібен цукор. URL: <https://harchi.info/articles/navishcho-organizmu-potriben-cukor> (дата звернення 6.10.22 р.)
2. Синеглазов В.М., Сергеев І.Ю. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2015. – 444 с.
3. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч.посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – С. 9
4. 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
5. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун Ю.С. та ін. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник. – К.: Сталь, 2017. – 456 с.
6. Технологічне обладнання для миття сировини і тари. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%20%D0%A1%D0%B0%D0%B9/page6.html (дата звернення 18.08.2022).
7. Бурякорізки. URL: <http://um.co.ua/8/8-2/8-23273.html> (дата звернення 18.08.2022).
8. Отримання дифузійного соку. URL: https://studopedia.com.ua/1_213747_otrimannya-difuzijnogo-soku.html (дата звернення 18.08.2022).

УДК 004.5

Б.О. Решетило, П.О. Гуменюк

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ)

У статті розглянуто сучасні методи створення повноцінного веб-додатку: автоматизованої системи обліку методичного забезпечення (освітньої програми) мовами програмування Angular з з UI колекцією PrimeNg та Laravel. Поставлено та вирішено актуальність проведення діагностики методичного забезпечення. Висвітлено переваги обраних мов програмування.

Ключові слова: облік, методичне забезпечення, автоматизована система обліку, back-end, front-end, фреймворк Angular з UI колекцією PrimeNg, фреймворк PHP – Laravel, програма.

The article discusses modern methods of creating a full-fledged web application: an automated accounting system of methodical support (educational program) in the Angular programming languages

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

with a UI collection of PrimeNg and Laravel. The urgency of carrying out methodical support diagnostics was presented and resolved. The advantages of selected programming languages are highlighted.

Keywords: *accounting, methodological support, automated accounting system, back-end, front-end, Angular framework with PrimeNg UI collection, PHP framework – Laravel, program.*

Постановка проблеми. Інформаційні технології зумовили глибокі зміни в суспільстві, рухаючи його вперед від індустріальної епохи до доби мереж. Інтернет увійшов у кожен аспект нашого повсякденного життя, змінивши спосіб взаємодії з іншими та надав безмежні можливості для освіти.

На сьогоднішній день вагому роль у забезпеченні якості надання освіти вищих навчальних закладів є методичне забезпечення освітньої програми та інформаційних систем для ефективної роботи. Зважаючи на немаловажну роль часу на проведення обліку методичного забезпечення освітньої програми вручну, проаналізовано актуальність розроблення автоматизованої системи обліку.

Протягом років одними з головних цілей вищої освіти були і є підвищення якості. Зважаючи на безперервний ріст науки і техніки, нагромадження суспільства знань, вищу освіту поділили на різновиди спеціальностей, які характеризуються комплексом відповідних знань і практичних навичок для кожної галузі діяльності окремо. У межах спеціальності поглиблено вивчається спеціалізація відносно кожної діяльності для забезпечення необхідного рівня.

У даній статті наведено завдання та висновки розробленої автоматизованої системи обліку методичного забезпечення освітньої програми та її актуальність на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначаючи конкретніше дане питання, слід зазначити, що розгляд методів обробки зображення висвітлено в працях Згуровський М.З, А. S. Sitanggar , W. Luke, T. Laura , L. Rasmus, M. Peter, T. Kevin , Bean Martin , B. Gavin, A. Martín, T. Mads , J. Sudheer, V. Oleg. Окремі аспекти роботи теоретичним знаннями про введення методичного забезпечення наведено у Законі України, про освітні програми та знання про стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» на сайті МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ.

Метою статті є аналіз способів програмного забезпечення для створення автоматизованої системи обліку методичного забезпечення, а також діагностику та спостереження за різні періоди введення методичної роботи.

Основна частина. Головним нормативним документом закладу вищої освіти, що створюється на ґрунті освітньої програми всіх спеціальностей та вміщує в собі інформацію про освітній рівень, графік навчального процесу, теоретичне та практичне навчання, компоненти, визначає навчальні дисципліни, їхні кредити, наявність індивідуальних робіт є навчальний план. Його розробка є одним з найвідповідальнішим видом методичної роботи.

У відповідності з навчальним планом до методичного забезпечення відносяться: конспект лекцій, методичні вказівки до виконання практичних робіт, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, методичні вказівки до виконання самостійних робіт, методичні вказівки до виконання курсових проектів та робіт. Методичне забезпечення освітнього компоненту є однаковою як для денної так і заочної форми навчання .

Під час акредитації освітньої програми експертами в першу чергу звертається увага на рівень та якість забезпечення освітніх компонентів її програми.

Тому розробка автоматизованої системи обліку методичного забезпечення освітньої програми є актуальною.

Тема, що розробляється повинна виконувати такі функції: відкрити базу даних про спеціальність, рік вступу здобувача вищої освіти, рівень вищої освіти рік методичного забезпечення, рік видання або позначку «не передбачено», систему забезпечення доступу користувачів, можливість завантаження та скачування файлів, актуальність методичного забезпечення шляхом відображення року видання та кольору комірки (1-3 роки - зелений, 4 роки - жовтий, 5 та більше років - червоний).

Розроблена структурна схема автоматизованої системи обліку методичного забезпечення (освітньої програми) спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології» Луцького національного технічного університету, наведена на рисунку 1.

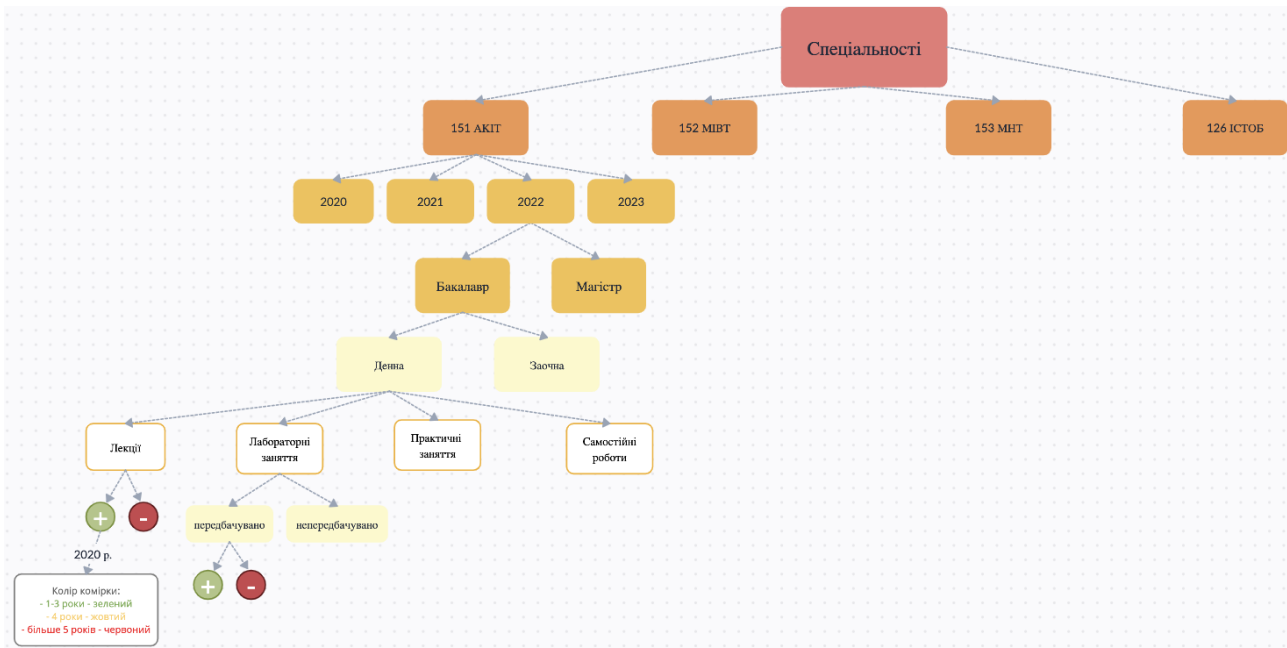


Рисунок 1 - Структурна схема обліку методичного забезпечення (освітньої програми) спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Основним завданням по front-end є створення зручного та одночасно привабливого інтерфейсу веб-додатка (користувальної частини), який є лицем високоякісного програмного забезпечення по back-end. Для розробки програмної частини використовуємо платформу Angular з PrimeNg.

Кожен сайт повинен в собі містити макет - layout, який складається з шапки header, тіла body та нижньої частини footer. Для реалізації компонента у створеній окремій директорії components - layout, описуються головні частини макету. Header містить в собі, як звичайний компонент три файли для функціонування: header.component.html, header.component.css, header.component.ts. Перший файл реалізований за допомогою тегів html з відповідними класами для стилізації. На рисунку 2 відображений результат вигляду шапки-навігації сайту.



Рисунок 2 - Навігаційна панель

Для нижньої частини сайту (footer) реалізовано файли з тими ж розширеннями. На рисунку 3 відображено вигляд footer на сайті.



Рисунок 3 - Реалізований footer

Для їхнього об'єднання у повну структуру сайту створено компонент з назвою layout.component.html з використанням назви селектора з файлів header.component.ts та footer.component.ts, а також селектора для стану маршрутизатора: <app-header></app-header>, <router-outlet></router-outlet>, <app-footer></app-footer>

У кожному компоненті (файл component.ts) є підключення модуля Component, OnInit (хук обробки додаткових завдань, надання початкового значення): import { Component, OnInit } from '@angular/core'. Компонент повинен вміщувати собі певну обробку для подальшого

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

використання, тому існує ряд методів. У програмному продукті використовуються наступні основні: `selector`, `templateUrl`, `styleUrls`, які відразу вказують на файли до яких звертатись. Наступним кроком створюється клас для кожного компонента, використовуючи модуль `OnInit` для зворотнього виклику параметру та ініціалізації основних властивостей: `constructor()` та `ngOnInit()`. Шаблон компоненту описується у файлі з розширенням `html`, який допомагає його використовувати. Перед реалізацією компонента необхідно розробити специфікацію компонента. Відповідно цьому створюється файл з розширенням `spec.ts`, де підключаються вбудовані компоненти фреймворку Angular для цих дій - `ComponentFixture` та `TestBed`.

На початку описується компонент, для якого необхідно робити специфікацію. Зазвичай цей метод починається з слова `describe`, де в дужках та лапках вказується назва компонента та передаються наступні створені зміни.

Друга утиліта є найважливішою при специфікації програми написаної на Angular - `TestBed`. Вона створює вбудований модуль та приймає метадані. Зазвичай її методи описуються в функції `beforeEach`.

На рисунку 2 створено п'ять посилань: методичні вказівки, освітні програми, дисципліни, користувачі та вхід-вихід для користувача. Для повного їхнього функціонування було створено окремі компоненти, які являються основними блоками програми - класами мови програмування TypeScript з декоратором `@Component`, шаблонами мови-розмітки HTML та стилізацією - CSS/SCSS.

У структурі проекту виділено 11 компонентів:

- `discipline-types` (служить для реалізації типу кожної дисципліни)
- `disciplines` (реалізує вид усіх дисциплін у вигляді таблиці, форми)
- `layout` (створює загальний вид-макет сайту `head-body-footer`)
- `layout-unauthorized` (макет для незареєстрованих користувачів)
- `login` (віджет для авторизації)
- `not-found` (компонент для сторінки вигляду - `error`)
- `op` (компонент для відображення освітніх програм у вигляді таблиці)
- `papers` (компонент для відображення методичних вказівок)
- `positions` (відображення посади користувача)
- `register` (віджет реєстрації)
- `users` (компонент для користувачів: доступ дій редагування)

Перше посилання «методичні вказівки» у шапці профілю, яке показано на рисунку 2 реалізує компонент `papers` для відображення таблиці з даними про освітню програму, дисципліни, її типом, назвою, авторами, анотацією, інформацію про рік видання, запланований рік та термін дійсності методичного забезпечення (рік). Для відображення контенту таблиці про методичне забезпечення використано основний тег UI колекції `PrimeNg` - `p-table`, який вміщує в собі основні властивості: значення, метод `scroll`, функцію сортування і т.д. За допомогою елемента Angular `<ng-template>` визначається даний компонент для відображення користувачеві таблиці, яка відображена на посиланні «методичні вказівки». Таблиця реалізована для введення актуального методичного забезпечення, тому для її кращого функціоналу було використано 4 кольори: червоний, голубий, жовтий та білий. Червоний колір акцентує увагу користувача на те, що даний документ є застарілим і його необхідно оновити (рік видання документу більше 5 років). Голубий колір акцентує увагу на запланованість видання, що акцентує іконка з знаком оклику у колонці «заплановано». Якщо рік видання в межах 4 років, тоді документ матиме жовтий колір. Біла комірка документу дає знати користувачеві, що рік видання в межах від 1 до 3 років. Над таблицею користувач може вибрати необхідну дисципліну та її валідність. На рисунку 4 показано реалізовану частину для користувача у посиланні «методичні вказівки».

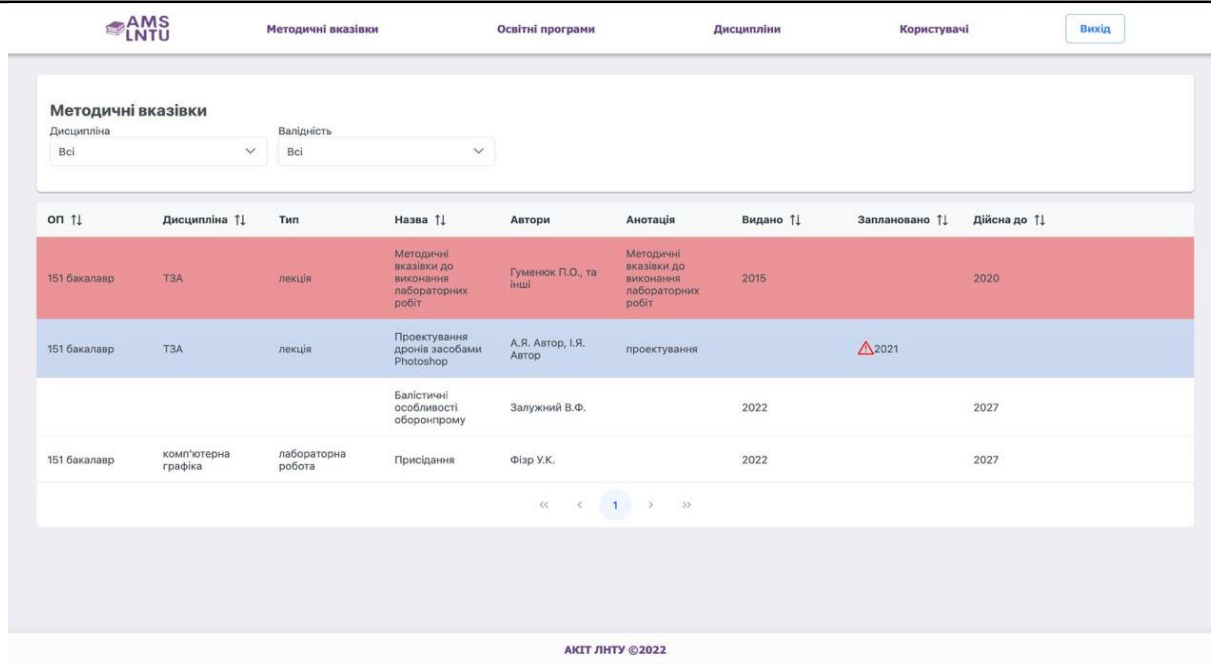


Рисунок 4 – Користувальна частина сторінки «Методичні вказівки» для звичайного користувача

Наступним посиланням у шапці профілю є «освітні програми». Відображення даної частини є реалізований компонент `op`. Оскільки освітні програми будуть здійснені у таблиці, яка вимагає значення у вигляді множини (масиву) для її кінцевого вигляду, тому було окремо реалізований компонент для даних дій `op-table` з використанням шаблону `p-table` колекції `PrimeNg` та `ng-template` для відображення повноцінного контенту таблиці. На рисунку 5 показано користувальну частину сторінки «освітні програми».

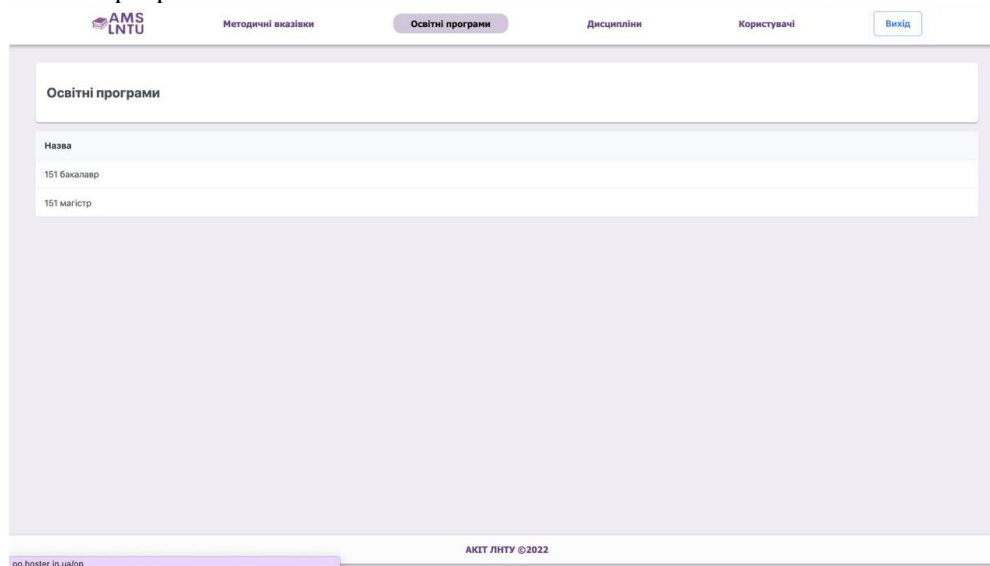


Рисунок 5 - Користувальна частина сторінки «Освітні програми»

Сторінка «дисципліни» реалізована за допомогою компонентів `disciplines` та `discipline-types`. Дисципліни в свою чергу розділені на окремі копоненти: `discipline-table` для створення таблиці та `disciplines-form` для створення форми. Шаблон таблиці утворений завдяки `<p-table>` та `ng-template` з визначеними заголовками колонок: освітня програма, назва та її опис. Вхідні дані, які відображаються користувачеві у трьох колонка, створені та оброблені завдяки моделі `DisciplineModel`. У загальному складникові `disciplines` виведено шаблон селектором `app-page-title` з наданням заголовку сторінці, її посиланням, а також можливості дій для адміністратора. Таблиця «дисципліни» відображена на сторінці завдяки селектора `app-discipline-table`. На рисунку 6 продемонстровано інтерфейс сторінки «освітні програми».

Освітня програма	Назва	Опис
151 бакалавр	ТЗА	технічні засоби автоматизації
151 бакалавр	ТАК	теорія автоматичного керування
151 бакалавр	надійність і діагностування	надійність і діагностування
151 бакалавр	комп'ютерна графіка	комп'ютерна графіка
151 бакалавр	мікропроцесорні системи	мікропроцесорні системи
151 бакалавр	фізика	фізика
151 бакалавр	вища математика	вища математика
151 бакалавр	фізкультура	фізкультура

Рисунок 6 - Користувальна частина сторінки «Дисципліни»

Усі користувачі, які були зареєстровані у дану платформу, можна побачити на сторінці «користувачі». Дана частина здійснена за допомогою компонента `users`. В той же час, він складається з окремих складових для полегшеного сприйняття структури компонента: `users-add`, `users-form` та `users-table`. Основний шаблон користувачів виконується за допомогою селектора `app-page-title` з наданим заголовком «Користувачі» та посиланням на відповідну сторінку, а також `app-users-table`, що відповідає за структуровану таблицю. У файлі `users.component.ts` проводиться виклик даного компонента `users` з відповідним селектором, шаблоном, та його стилізацією, а також реалізацією класу з наслідуванням обробки інформації даних, перевірки статусу користувача (чи це адмін чи ні). Якщо користувач був тільки зареєстрований, тоді викликається компонент `users-add` завдяки якому додається даний користувач у таблицю «користувачі». Основна таблиця даної сторінки створена завдяки `p-table` та `ng-template`. Колонки в свою чергу притамані основні заголовки: ім'я, посада, можливість додавати методичні вказівки. Остання колонка записує рядковий формат так або ні, яка реалізовується завдяки виклику та обробки функції `*ngIf=«isAdmin»`, що в свою чергу перевіряє чи даний користувач є адміністратором, чи це звичайний абонент. Обробка даних трьох колонок таблиці «користувачі» проводиться за допомогою файлу `users-table.component.ts`. Для адміністратора сформований окремий компонент `users-form`. Дана частина сторінки буде відображатись тільки для адміністраторів. Весь контент сторінки поміщено у картковий блок `p-card` із заголовком «Редагування користувача», який вміщує в себе дані імені, прізвища та по-батькові зареєстрованих користувачів, посадою (лаборант, викладач, ст. викладач, доцент), пошти. Адміністратор платформи також може додати властивість зареєстрованому користувачеві додавати документи. Даний метод здійснюється завдяки компоненту вибору із списку `p-selectButton` колекції `PrimeNg`. Компонент `users` відображено на рисунку 7.

Ім'я	Посада	Може додавати методичні вказівки
O G P		Ні
Решетило Богдана Олександрівна		Так
Коновалюк Дмитро Юрійович		Ні
Прізвище Дмитро Батькович		Ні
Resh Bohdana Olex		Так
c a b		Так
resh bohdana olex		Так
bot bot bot		Так

Рисунок 7 - Користувальна частина сторінки «Користувачі»

Для входу користувачеві на сайт необхідно натиснути на кнопку у шапці сайту «Вхід». Дана сторінка втілена завдяки розробці компоненту login. Шаблон побудований за допомогою компонентів форм та кнопок UI колекції PrimeNg: p-toast, p-skeleton. Користувачеві необхідно ввести пошту та пароль та натиснути на кнопку «Увійти» на сайт. Проте, якщо користувач не зареєстрований, тоді йому необхідно перейти за посиланням «зарегіструватись». Обробка даних входу проводиться на основі файлу login.component.ts, де проводиться валідація користувача, а також його перевірка на можливість редагування, створення контенту. Якщо дані було введено не вірно чи даного користувача перевірка показала у невиявленні, тоді висвітиться модальне вікно «не вдалось увійти». Реалізована сторінка зображена на рисунку 8.

Вітаю!

Email

Пароль

Ви ще не маєте акаунта? [зарегіструватись](#)

Увійти

Рисунок 8 - Користувальна частина сторінки «Вхід»

Якщо користувач не зареєстрований, тоді перейшовши по посиланню «зарегіструватись» йому виведеться нове модальне вікно з реєстрацією. Наступна сторінка створена завдяки компоненту register. Шаблон використовує методи та способи реалізації форм для реєстрації UI колекції PrimeNg: p-toast, p-skeleton, p-dropdown. Віджет реєстрації складається з форм: пошта, пароль, повторний пароль, вибору посади користувача (інформація оброблюється в компоненті position), окремі форми для ПНО. Після введення даних форм для подальших дій необхідно натиснути на кнопку «Зареєструватись», ввести ще раз пошту та пароль та увійти на сайт. Повідомлення про успішний вхід оснащено спливаючим вікном зеленого кольору «Користувач створено». З іншої сторони, якщо дані було введено не так чи у системі пішов збій, тоді спливаюче вікно матиме вигляд «Не вдалось створити користувача». Якщо ж користувач випадково зайшов по даній силці, тоді знизу він побачить надпис «Ви вже реєструвались раніше? Тоді краще» та нажавши на посилання «увійти» перейде до попереднього модального вікна «Вхід». На рисунках 9 – 10 відображено користувальну частину даного компонента,

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

Для повного функціоналу програми необхідно створити окрему директорію, де будуть поміщатись файли з розширенням `service.ts`. Вони необхідні для тестування компонентів. Зазвичай це фейкові дані. Існує макет `service` для підтримки шаблонів, щоб полегшити тестування. Тестування необхідне, оскільки компоненти не можуть зберігати в собі дані та не обробляються (вони виконують лише функцію представлення макету). Це найкращий спосіб обмінюватись інформацією між різними класами. Для початкового тестування програми створено клас `AuthGuardService` у файлі `auth-guard.service.ts` для автентифікації, тобто перевірка входу користувача на сайт.

Спочатку підключено модулі `Injectable` (для визначення класу, який бере певні залежності) та `LocalStorageService` (для зберігання даних локально. Опис створення даного класу буде наведено пізніше).

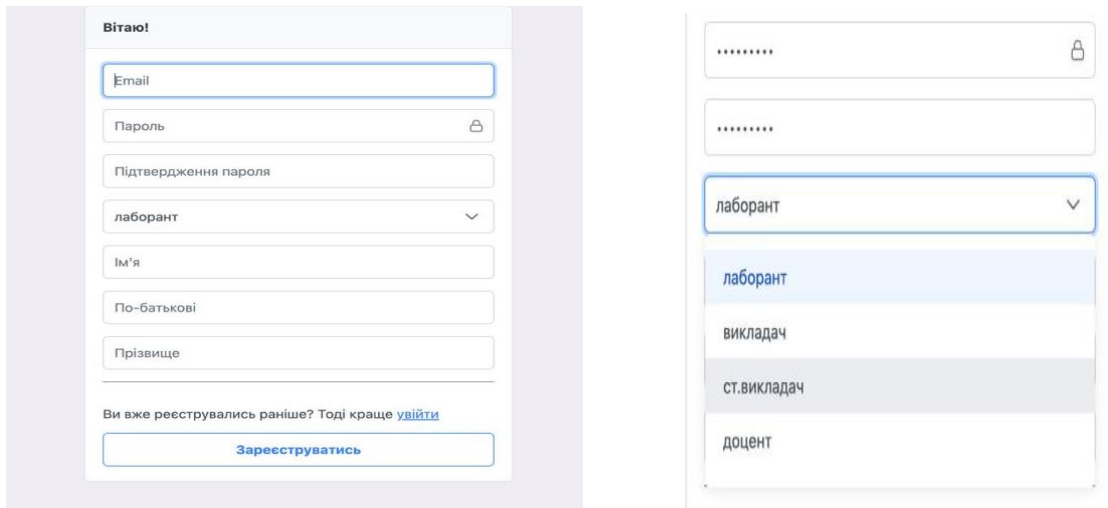


Рисунок 9 - Користувальна частина сторінки «Зареєструватись»

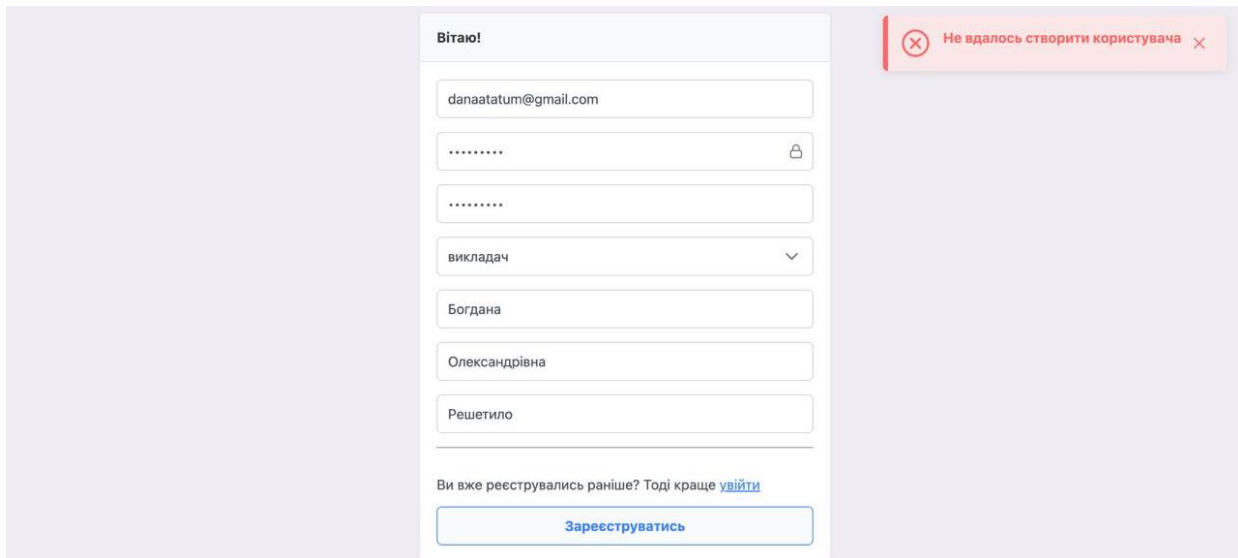


Рисунок 10 - Користувальна частина сторінки «Зареєструватись» з помилкою

У кожному сайті завжди є HTTP – запити, які являють собою протокол додатків без збереження сесії користувача, обміном інформації між клієнтом та сервером, оброблення та завантаження даних з доступом до них. Для цього в фреймворку Angular існує інтерфейс `HttpClient`. Даний запит реалізовано у файлі `http-client.service.ts`, де створюється клас `HttpClientService` з конструктором `UtilityService` (буде описано пізніше) з запитами: `get` (режим отримання та читання), `post` (створення), `put` (оновлення повної інформації та її перезаписом), `patch` (часткове оновлення потрібної інформації), `delete` (видалення).

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

Для відображення усіх ймовірних подій, помилок та збоїв HTTP – запитів, їх перетворень, обробки та створення нових потоків організовано файл `http-interceptor.service.ts`, де спочатку підключаються модулі.

Для обробки та створення нових запитів створено клас `HttpInterceptorService`, який наслідує властивості інтерфейсу `HttpInterceptor`. Основними параметри даного класу є `req` – `HttpRequest` <any>, опис об'єкту для обробки вихідного запиту, а також `next` – `HttpHandler`, наступний крок у перетворенні запитів. Доступ до конкретних та запасних параметрів, їхнього маршруту забезпечує метод `map`, який оброблює в собі події запиту `HttpEvent` з передбачуваними подіями для помилок виду 200 - `HttpResponse` та 401 `HttpErrorResponse`.

Відповідь запитів яка поміщується в заголовку даних оброблюється в класі `getRequestHeaders`. Для даного класу створено дві константи: `token` для визначення/ повернення у пам'яті ключа – параметру 'token', `headers` – для змінення заголовків.

Для реалізації повного програмного продукту необхідне зберігання даних у веб (браузері) які зберігаються після кожного оновлення сторінки та пере загрузки веб-браузера. Головною особливістю `localStorage` є збереження інформації без додаткового оновлення сервера, що суттєво збільшує об'єм сховища (+- 5 мегабайтів).

Для тестування програмного коду front-end частини розроблено константи даних бази даних (приклади), щоб краще побачити реалізацію цієї частини. Для того, щоб створити константи спочатку пишуть `export const` та вказують її назву, якщо це масив даних, то їх вказують у лапках, виділяючи комою, якщо ж це список, то для них заведено прописувати спочатку квадратні дужки. Кожен компонент повинен мати реалізовану модель. Даний програмний продукт вміщує в собі 6 моделей: `Discipline`, `Op`, `Papers`, `Position`, `User`, `Common`. Вони створюються так як і класи, використовуючи конструктор (`constructor`), де описують типи даних окремо для кожної змінної.

Back-end реалізовано за допомогою виразного синтаксису фреймворка PHP Laravel, який оснащений багатою варіативністю різних інструментів та бібліотек для веб-додатків

Сперш за все, інсталиують базу даних `SQLite`, яка є автономна. У файлі з розширенням `.env` буде відображено назву до бази даних, якщо все зроблено вірно. Щоб створити (заповнити) таблицю бази даних певними полями, необхідно запустити метод міграції `php artisan make:migration` (назва таблиці).

Наступним важливим кроком у побудові back-end є забезпеченням проміжним програмним забезпеченням (`middleware`), контролерами (`controllers`) та ресурсами (`Resources`). Контролери забезпечують логічну обробку усіх http-запитів, зазвичай усі вони розташовані у папці `app/Http/Controllers`. Створено 2 контролера: `Controller`, `PostsController`.

Для створення api (інтерфейс для зв'язку фронту і бека) необхідно використовувати `json` для рекомендованих моделей-контролерів: `AuthController`, `DisciplineTypesController`, `DisciplineWTypesController`, `DisciplinesController`, `OpController`, `PapersController`, `PositionsController`, `UsersController`. `AuthController` створений для авторизації користувача. Для початку роботи необхідно створити функцію з перетворенням контролера та його запитів у форму `json`. Далі створено зміну `$validator` для перевірки усіх можливих запитів: пошти (обробка даних, ініціалізація типу даних, надання імені, довжини максимальної кількості елементів та унікального ключа), пароля (обробка даних та присвоєння типу даних - `string`), повне надання імені, прізвища та по батькові користувача, ведення позиції користувача для можливості редагування контенту.

Для авторизації необхідно створити умову для перевірки коректного вводу, якщо щось пішло не так буде з'являтися помилка 403 або сповіщення про неправильність вводу даних. Некоректний вхід створено завдяки змінній `$input`, де зберігається введена інформація користувача, а також надання редагування за допомогою створених змін `$input['is_admin']=0`, `$input['can_add_paper']=0`. Після успішного входу користувач отримає повідомлення про успішний вхід, проте якщо користувач не зареєстрований у базі даних, тоді з'являється повідомлення про помилку або відмові у доступі.

Під час реєстрації користувач повинен вибрати свою посаду на кафедрі, дані яких оброблюються. Дані ж про користувача повинні проходити перевірку лише після повернення значення його посади.

Зручна, корисна перевірка по усіх запитах для різноманітних завдань програми реалізовується у папці `Middleware`, яка складається з наступних файлів: `Authenticate.php`, `Cors.php`, `EncryptCookies.php`, `PreventRequestsDuringMaintenance.php`, `RedirectIfAuthenticated.php`, `TrimStrings.php`, `TrustHosts.php`, `TrustProxies.php`, `VerifyCsrfToken.php`. Усі вони виконують певні функції у роботі: автентифікація, обробка заголовків та відповіді `Access-Control-Allow-Origin`,

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

роботи з файлами cookies, масиви шляхів до сторінок, обробка перенаправлення успішно зареєстрованих користувачів на головну сторінку, очищення даних, обробка довірених хостів та ір-адресів та взаємодії часу з даними.

Усі ресурси створені у папці `app/Http/Resources`, які забезпечують обробку моделей та їхніх колекцій у структуру `json`. Зазвичай, кожен клас реалізується та перетворюється у задану структуру окремо, визначаючи потрібні дані. Отже, кожен ресурс повинен містити певний масив даних для її маршрутизації. Кожен ресурс містить відповідний контролер, тобто їхнє іменування відрізняється тільки іншим закінченням – `Resource`.

Ядром усіх запитів є файл `app/Http/Kernel.php`. На данному етапі запускається обробка налаштувань усіх вхідних запитів (`request`), виявлення їхніх помилок, внутрішньої конфігурації: списку усіх масиви `middleware` (де виконується основна проміжна перевірка). Кінцевим результатом отримується `http-відповідь` (`response`).

Для повного функціонування кожної колонки бази даних (таблиці) необхідно створити моделі, які реалізовані у папці `app/Models` з наслідуванням властивостей та методів створення вбудованої базової моделі `Laravel: DisciplineType, DisciplineWType, Discipline, Op, Papers, Position, Posts, User`. Основним центральним місцем програми, її завантаження, реєстрації подій та роутерів є `Providers`. Усі вони входять до комплектації файлу `config/app.php` з головною ціллю – завантаження головних компонентів. Центральний файл для провайдеру даного застосунку є `app/Providers/AppServiceProvider.php`, котрий наслідує властивості та методи технічного базового провайдера `Laravel – ServiceProvider : register`.

Кожна сторінка повинна мати свою окрему індивідуальну `url` – адресу. Для даних дій використано метод маршрутизації `routes`, який реалізовано у файлі `routes/api.php`. Сперш за все, побудовано роутер для `middleware` з `get` запитом про надання даних користувача. Надалі об'єднано в одну групу основні роутери для маршрутизації по веб-сторінках (класах, які були створені раніше) з методами `get, post: UsersController, AuthController, OpController, DisciplinesController, PapersController, DisciplineTypesController, DisciplineWTypesController, PositionsController`. Для одного класу створено 3 роутера: `list` (створення даних у список), `save` (зберігання) та `get` (отримання даних з відповідних полів).

Висновок. Досліджуючи огляд методів та властивостей мов програмування `Angular. Laravel`, в рамках проекту було створено веб-додаток автоматизованої системи обліку методичного забезпечення (освітніх програм).

Проаналізовано актуальність вибраної теми серед навчальної освіти вищих закладів. Доведено універсальність використання та полегшення організації, введення методичного забезпечення для викладачі навчальних закладів.

Набуті навички та досвід у створенні повноцінного сайту: створення бази даних: її міграцій, ресурсів, контролерів, моделей та способи реалізації маршрутизатора для кожно моделі (сторінки сайту); засвоєнно синтаксис обох мов програмування, створення графічного інтерфейсу завдяки мові `Angular` : структура організованого коду, шаблонізація, реалізовано окремо кожний компонент (використовуючи основні методи його створення).

Предмет подальших досліджень. Розробка спеціалізованих інструментів та поліпшення їх функціоналу зі спільним використанням результатів різних видів методичного забезпечення інших спеціальностей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Згуровський М.З. Болонський процес: головні принципи та шляхи структурного реформування вищої освіти України / М. З. Згуровський. – К.: Вид-во: НТУУ «КПІ», 2006. – 544 с.
2. Про вищу освіту: Закон України від 17.01.02 №2984–III// ВВР. - №20. – С. 134.
3. ОСВІТНІ ПРОГРАМИ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi>
4. Стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». // МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ. – 2020. – С. 22.
5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗРОБЛЕННЯ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН У КРИВОРІЗЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ

- УНІВЕРСИТЕТИ [Електронний ресурс] [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.knu.edu.ua/storage/files/2/3/50.pdf>
6. A. S. Sitanggar, . :-: .\NALYSIS OF APPLICATION INFORMATIO\ Si S. =).1 \S E.BUSSINESS CO-BABY APPLICATION OF U:i-l -'\-d.E IN.» pp 194-197.2013
 7. Luke W. PHP and MySQL Web Development [Електронний ресурс] / W. Luke, T. Laura // Second Edition. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=G4dTRyvpfhoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=PHP&ots=THJgsD8mka&sig=OO90JGLvtSj47VhXhe5h94a8foI&redir_esc=y#v=onepage&q=PHP&f=false.
 8. Rasmus L. Programming PHP [Електронний ресурс] / L. Rasmus, M. Peter, T. Kevin // O'Reilly. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=h-E1IVko-skC&oi=fnd&pg=PT7&dq=PHP&ots=yrKZIVMySh&sig=J20oeE5qpR1h5Waa-lAIDBp_hO4&redir_esc=y#v=onepage&q=PHP&f=false.
 9. Martin B. Laravel 5 Essentials [Електронний ресурс] / Bean Martin. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=BWO4CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=laravel&ots=8b_5_ywESQ&sig=APIHrxlYdXr5h_T9Xkue3olytAQ&redir_esc=y#v=onepage&q=laravel&f=false.
 10. Gavin B. Understanding TypeScript [Електронний ресурс] / B. Gavin, A. Martín, T. Mads. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44202-9_11.
 11. Sudheer J. Angular UI Development with PrimeNG [Електронний ресурс] / J. Sudheer, V. Oleg. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=J-dDDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Angular+%D0%B7+Primeng+&ots=fyWb6e6m_T&sig=FSy305FU6R8yDkCt7CIOWS9Gzaw&redir_esc=y#v=onepage&q=Angular%20%D0%B7%20Primeng&f=false.

УДК 519.6

О.М. Решетило, Ю.С. Лапченко, Г.Л. Стельмашук

Луцький національний технічний університет

E-mail: o.reshelylo@lntu.edu.ua, y.lapchenko@lntu.edu.ua

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ГОСПОДАРСЬКОГО МИЛА

На базі промислового контролера Siemens S7-200 розроблена автоматизована система керування технологічним процесом виробництва господарського мила. 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 контактно-релейних схем розроблено програму функціонування мікроконтролера. Розроблено електричну схему зовнішніх з'єднань, схему сигналізації, щит керування та схему його живлення. Визначено вибухо- та пожежонебезпечні процеси та розроблені заходи їх попередження та усунення у разі аварійних ситуацій. Розроблені заходи захисту обслуговуючого персоналу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Ключові слова: технологічний процес, виробництво, господарське мило, автоматизована система керування, алгоритм, програма, мікроконтролер.

О.М. Reshelylo, Y.S. Lapchenko, G.L. Stelmaschuk. Automated system for controlling the technological process of the production of laundry soap

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

Based on the Siemens S7-200 industrial controller, an automated control system for the manufacturing process of laundry soap was 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 controller modules has been developed. In the language of contact-relay circuits, a program for the operation of the microcontroller has been developed. An electrical circuit of external connections, an alarm circuit, a control panel and its power supply circuit were developed. Explosive and fire-hazardous processes have been determined and measures for their prevention and elimination in case of emergency situations have been developed. Measures have been developed to protect service personnel from dangerous and harmful production factors.

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

Постановка проблеми.

«Завдяки тому, що господарське мило виготовляється лише з натуральних продуктів, таких як тваринні жири і рослинне масло, воно є екологічно чистим продуктом. Також при провадженні господарського мила можуть використовуватися жирні кислоти, синтетично вирощені та технічні жири.

Господарське мило набуло великого поширення, як в побутових умовах, так і на виробництві з ряду наступних особливостей:

- має високі характеристики, як миючого засобу;
- має здатність однаково добре мити при будь-яких температурах;
- не чинить несприятливого впливу і роздратування, на шкіру рук;
- природне повне розкладання на складові біологічні елементи;
- безпека в плані пожежної стійкості і токсичності;
- має тривалий період зберігання, аж до року.

Області застосування господарського мила різні як в побутових умовах, так і в умовах виробництва:

- як засіб для чищення або миючий засіб;
- в якості засобу для прання дитячої білизни, бавовняної одягу та напіввовняних речей;
- в якості миючого засобу при прибиранні приміщень;
- в якості пластифікуючої присадки в деякі види шпаклівок;
- в якості засобу для чищення деталей в деяких областях технічної промисловості;
- застосовується у фермерських і селянських господарствах.» [1]

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва господарського мила 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 якість продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Технологічний процес виготовлення господарського мила протікає наступним чином.

«У казан через завантажувальне вікно поміщаються технічний жир та інші компоненти згідно рецептури. Для розігрівання компонентів з електроводонагрівача в сорочку казана поступає гаряча вода з температурою 70-75 °С. При працюючій мішалці до розплавленої маси поступово подається розчин каустичної соди.

Висолювання призначене для видалення з розчину мила надлишку сторонніх домішок. При працюючій мішалці до киплячого мильного клею невеликими порціями в 5-6 прийомів додають насичений розчин солі. В процесі хімічної реакції відбувається розділення мильного клею на ядро і мильний луг. Після закінчення висолювання, яке продовжується 2...3 години, нагрівання припиняють і відключають мішалку. При температурі 60...80 °С протягом 24 годин мило в казані відстоюється до повного відділення ядра від мильного луку, який потім зливають.

Наступний етап технологічного процесу — шліфовка мила, при якому ядрове мило перетворюється на мило. Шліфовка здійснюється гарячою водою і слабким розчином (1...2%) кухонної солі при включеному обігріві і працюючій мішалці. Після закінчення шліфовки мильна маса відстоюється в казані 10...12 годин.

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

Після закінчення дозрівання мило аналізується за всіма органолептичними і фізико-хімічними показниками згідно ГОСТ 30266-95 “мило господарське тверде”. Тоді мило зливають в металеві форми, де протягом 20...24 годин відбувається охолодження і застигання в природних умовах.

Після застигання мильний блок розрізають на пластини за допомогою шаблонів і сталевого дроту. На кожен шматок мила наноситься штамп з вказанням товарного знаку заводу-виготівника, позначенням стандарту і найменування мила, в даному випадку “мило господарське”. Нарізане і промарковане мило укладають на дерев'яний піддон для сушки. Сушку проводять в добре провітрюваних приміщеннях при температурі 18...20 °С протягом 2-3 діб. Технологічний процес виробництва оснований на підготовці високожирної молочно-жирової дисперсії і подальшим перетворенням її в масло шляхом термомеханічної обробки. Використання рослинних масел, замінників молочного жиру у виробництві комбінованого масла методом перетворення, дозволяє проводити заміну молочного жиру 70 % і виключає домішки, що впливають на якість готового продукту. Продукт повинен вироблятися з рослинних масел, що пройшли повний цикл рафінування і дезодорації та які володіють стійким складом. Можливе також використання масла вершкового, топленого, молочного жиру, завдяки чому не потрібне використання сепараторів високожирних вершків. Комбіноване масло виготовляється з використанням, в різних співвідношеннях, вершків (з вмістом жиру 35 %, 52 %, 72,5 % та 82,5 %), вершкового масла, молока, молочного відвійок, пахти, сухого молока. Процес виробництва зводиться до якісної підготовки суміші, що складається з молочної основи і рослинних жирів з можливим додаванням інгредієнтів, які сприяють покращенню смаку, аромату і консистенції продукту, що виробляється.

Оскільки необхідно автоматизувати лише ту частину процесу виробництва мила, яка відноситься до автоклавного відділення, то розглянемо тільки технологічну стадію каталітичного приєднання водню до складних ефірів гліцерину і ненасичених жирних кислот з метою отримання твердих жирів.

Технологічний процес здійснюється в двох батареях автоклавів, що послідовно з'єднані трубопроводами переливу.

Масляна суспензія з відділення рафінування поступає в баки для масла, з яких насосами подається відповідно в перші автоклави батарей. Одночасно в перші автоклави батарей з апаратів для витратного каталізатора насосами дозаторами безперервно подають суспензію витратного каталізатора. Разом з каталізатором масло з перших автоклавів послідовно проходить в другий і третій автоклави батарей і далі в саломасозбірники, звідки насосами через холодильники його направляють на фільтр-преси.

Для підтримання необхідної температури в гріючі змійовики автоклавів подають пару високого тиску. При підвищенні температури сировини в другому і третьому автоклавах батарей понад задану, масляна суспензія з відділення рафінування подається з баків для масла насосами через охолоджуючі змійовики цих автоклавів. Масло, що виходить із змійовиків, поступає в перші автоклави батарей, а надлишок масла повертається в баки.» [2]

Основні технологічні параметри процесу виготовлення господарського мила наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. - Параметри технологічного процесу виготовлення господарського мила

Найменування параметра	Діапазон вимірювання або регулювання	Допустима точність контролю і	Необхідний рівень автоматизації
Температура в першому, другому і третьому автоклавах, °С	30...250	±3	Контроль, регулювання,
Температура масла на вході перший автоклав, °С	30...160	±3	Контроль, регулювання,
Тиск в автоклавах, МПа	0...0,05	±0,001	Контроль
Витрата водню на перший автоклав, м ³ /год.	100...400	±3	Контроль, регулювання,
Витрата водню на другий автоклав, м ³ /год.	200...400	±3	Контроль, регулювання,
Витрата водню на третій автоклав, м ³ /год.	50...200	±3	Контроль, регулювання,

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

Витрата масла, л/год.	5000...6000	±10	Контроль, регулювання,
Водень в повітрі приміщень, %	0...50	±0,5	Контроль, сигналізація,

Система автоматизації, що розробляється, повинна забезпечувати виконання наступних функцій:

- з метою підвищення надійності функціонування АСУ повинне бути передбачене резервування її структурних компонентів;

- АСУ повинна бути реалізована у вигляді структури, що складається з певної кількості функціональних підсистем і декомпозиції, що відображає принципи, АСУ, як за технологічною ознакою, так і відповідно до ієрархії завдань управління, що реалізуються;

- АСУ, що розробляється, повинна входити до складу використовуваної в даний час системи, функціонально не міняючи її основні характеристики. У структуру АСУ повинен бути включений керуючий контролер;

- АСУ, проєктована на мікропроцесорній техніці, повинна контролювати і оперативно керувати технологічним процесом виробництва господарського мила, а також забезпечувати необхідну безпеку ведення процесу, з врахуванням того, що в процесі бере участь вибухонебезпечний компонент (водень); у таблиці 1 наведений перелік параметрів в автоклавному відділенні, що контролюються;

- регулювання витрати водню;

- регулювання витрати масла;

- регулювання температури сировини в автоклавах;

- регулювання тиску в автоклавах;

- якість виконання АСУ своїх функцій визначається технічних і технологічним регламентом:

- 1) похибка вимірювання регульованих параметрів - не більше 0,1 %;

- 2) похибка у вимірюванні концентрації водню не більше 0,5 %;

- можливість переведення системи на ручне управління.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва господарського мила можна зробити наступні висновки.

Існуючі на сьогоднішній день системи керування технологічним процесом виробництва господарського мила 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;

4. розробити електричні схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до контролера;

5. розробити математичні моделі динаміки процесу каталізації водню та динаміки об'єкта за каналом "Витрата регулюючої пари - температура в першому автоклаві";

6. розробити програмне забезпечення для контролера;

7. розробити щит керування та схему його живлення;

8. Визначити небезпечні та шкідливі виробничі фактори та розробити заходи їх усунення.

Тому виникла необхідність розробити автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва господарського мила.

Виклад основного матеріалу.

Основною задачею, яку повинна вирішити автоматизація технологічного процесу виготовлення господарського мила, є забезпечення його необхідними параметрами в допустимих межах, а саме – подачею масла або сумішей масел з тваринними жирами, масляної суспензії каталізатора і водню із заданими параметрами.

Автоматизація технологічного процесу виготовлення господарського мила передбачає наступні контури регулювання:

- регулювання витрати водню;

- регулювання температури сировини в автоклавах;
- регулювання тиску в автоклавах;
- регулювання витрати масла (суміші масел).

Зі всього технологічного ланцюжка виробництва господарського мила виберемо процес каталітичного приєднання водню до складних ефірів гліцерину і ненасичених жирних кислот.

На рис. 1 наведена структурна схема об'єкта управління, де:

X_j - кількість масла, що поступає в j -й автоклав;

X_{kj} - кількість каталізатора, що поступає в j -й автоклав;

$X_{в1}$ - кількість водню, що поступає в j -й автоклав;

$X_{п1}$ - температура пари;

$X_{м1}$ - температура масла, що протікає через охолоджувальні змійовики 2-го і 3-го автоклавів;

$Y_{ж1}, Y_{ж2}, Y_{ж}$ - кількість жиру, що виходить відповідно з 1-го, 2-го і 3-го автоклавів.

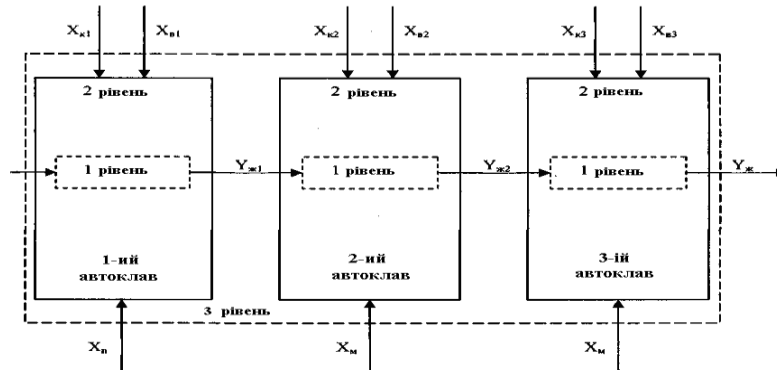


Рисунок 1 - Структурна схема об'єкта управління:

1 рівень - реакція на одиничній дисперсній частинці каталізатора;

2 рівень - процес в автоклаві;

3 рівень - процес в промисловій батареї автоклавів.

З наведеної на рис. 1 схеми видно, що технологічний процес виготовлення господарського мила являє собою складну динамічну ланку з багатьма взаємопов'язаними вхідними і вихідними величинами.

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 рис. 2.

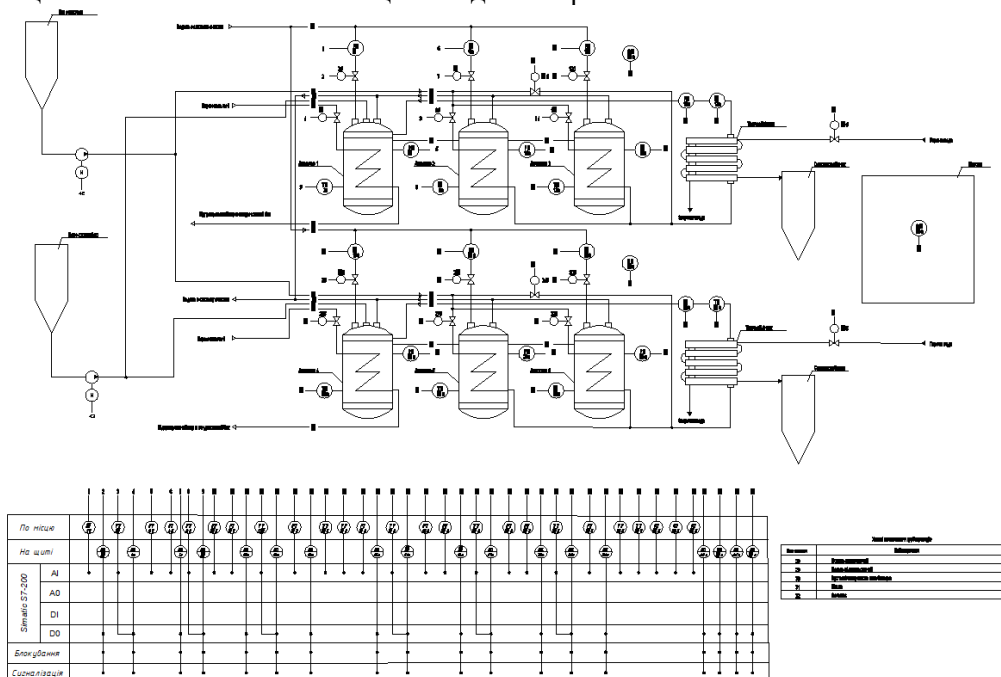


Рисунок 2. – Функціональна схема автоматизації

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

Оскільки попередня підготовка компонентів та висоловвання розчину відбувається в окремому приміщенні і на даний момент є повністю автоматизованим та базується на сучасних технічних засобах автоматизації, то необхідно автоматизувати лише частину технологічного процесу виробництва господарського мила, яка відноситься до автоклавного відділення, тобто лише технологічну стадію каталітичного приєднання водню до складних ефірів гліцерину і ненасичених жирних кислот.

Для отримання якісних твердих жирів технологічний процес відбувається у двох батареях автоклавів, що послідовно з'єднані трубопроводами переливу.

Масляна суспензія з відділення рафінування поступає в бак для масла, з якого насосом подається відповідно в перші автоклави батарей. Для цього на відповідному цифровому виході модуля дискретного виводу контролера формується сигнал подачі живлення на пускач NS 42а, що вмикає подачу живлення на електродвигун приводу насоса.

Одночасно в перші автоклави батарей з апаратів для витратного каталізатора насосом дозатором безперервно з бака подають суспензію витратного каталізатора. Для цього на відповідному цифровому виході модуля дискретного виводу контролера формується сигнал подачі живлення на пускач NS 43а, що вмикає подачу живлення на електродвигун приводу насоса-дозатора.

Разом з каталізатором масло з перших автоклавів послідовно проходить в другий і третій автоклави батарей і далі в саломасозбірники, звідки насосами через холодильники його направляють на фільтр-преси.

Для підтримання необхідної температури в грійучі змійовики автоклавів з котельні подають перегріту пару тиском 2,5 МПа. Для цього на відповідному цифровому виході модуля дискретного виводу контролера формується сигнал подачі живлення на пускачі, що вмикає подачу живлення на виконавчі механізми приводу наступних електроклапанів:

- для 1-го автоклава – NS 4а (електроклапан 4б);
- для 2-го автоклава – NS 9а (електроклапан 9б);
- для 3-го автоклава – NS 14а (електроклапан 14б);
- для 4-го автоклава – NS 22а (електроклапан 22б);
- для 5-го автоклава – NS 27а (електроклапан 27б);
- для 6-го автоклава – NS 32а (електроклапан 32б).

Відпрацьований пар з автоклавів надходить в конденсатний бак для його конденсації, охолодження та повторного використання.

Для вимірювання температури у відповідних автоклавах використовуються датчики температури, сигнал з яких поступають на відповідні канали модуля аналогового вводу контролера:

- для 1-го автоклава – TE 3а;
- для 2-го автоклава – TE 8а;
- для 3-го автоклава – TE 13а;
- для 4-го автоклава – TE 21а;
- для 5-го автоклава – TE 26а;
- для 6-го автоклава – TE 31а.

При підвищенні температури сировини в другому і третьому автоклавах батарей вище заданої, масляна суспензія з відділення рафінування подається з баку для масла насосом через охолоджуючі змійовики цих автоклавів. Масло, що виходить із змійовиків, поступає в перші автоклави батарей, а надлишок масла повертається в баки.

Для вимірювання тиску водню у відповідних автоклавах використовуються датчики тиску, сигнал з яких поступають на відповідні канали модуля аналогового вводу контролера:

- для 1-го автоклава – PE 5а;
- для 2-го автоклава – PE 10а;
- для 3-го автоклава – PE 15а;
- для 4-го автоклава – PE 23а;
- для 5-го автоклава – PE 28а;
- для 6-го автоклава – PE 33а.

Водень з системи очистки подається у автоклави першої та другої батарей. Для цього на відповідному цифровому виході модуля дискретного виводу контролера формується сигнал подачі живлення на пускачі, що вмикає подачу живлення на виконавчі механізми приводу наступних електроклапанів:

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

- для 1-го автоклава – NS 2a (електроклапан 2б);
- для 2-го автоклава – NS 7a (електроклапан 7б);
- для 3-го автоклава – NS 12a (електроклапан 12б);
- для 4-го автоклава – NS 4a (електроклапан 4б);
- для 5-го автоклава – NS 9a (електроклапан 9б);
- для 6-го автоклава – NS 14a (електроклапан 14б).

Для вимірювання витрати водню, що подається у відповідний автоклав, використовуються витратоміри, сигнали з яких поступають на відповідні канали модуля аналогового вводу контролера:

- для 1-го автоклава – FE 1a;
- для 2-го автоклава – FE 6a;
- для 3-го автоклава – FE 11a;
- для 4-го автоклава – FE 19a;
- для 5-го автоклава – FE 24a;
- для 6-го автоклава – FE 29a.

Оскільки система подачі водню є замкненою, то не використаний водень повертається назад до системи очистки.

Для кожної з секцій автоклавів мильний розчин також підігрівається в теплообмінниках. Для цього відкривається відповідний електроклапан і в рубашку теплообмінника подається гаряча вода. Відповідно на виходах модуля цифрового виводу контролера формується сигнал, подається живлення на виконавчі елементи електроклапанів NS 40б та NS 41б. Відпрацьована вода повертається для повторного використання.

Температура мильного розчину після теплообмінника 1-ї батареї автоклавів вимірюється за допомогою датчика TE 17a, а витрата – витратоміром FE 18a, сигнали з яких поступає на відповідні входи модуля аналогового вводу контролера.

Температура мильного розчину після теплообмінника 2-ї батареї автоклавів вимірюється за допомогою датчика TE 35a, а витрата – витратоміром FE 36a, сигнали з яких поступає на відповідні входи модуля аналогового вводу контролера.

Далі готовий розчин подається в саломасозбірники.

Суміш водню з повітрям вибухонебезпечна через дуже широку межу вибухання. Вірогідність вибуху при попаданні водню в приміщення значно зростає, якщо воднево-повітряна суміш контактує з нагрітою поверхнею металу, так само під впливом електричного розряду, металів-каталізаторів. Тому в системі передбачено:

- організація контролю 50 % і 10 % від НКПРП вмісту водню в повітрі в автоклавному відділенні і в щитовій;
- забезпечення світлозвукової сигналізації в автоклавному відділенні і щитовій. Автоматична фіксація випадків на рівні 10 % і 20 % від НКПРП. Світлозвукова сигналізація про 20 % від НКПРП, формування сигналу на включення аварійної витяжної вентиляції і на відключення всіх механізмів автоклавного відділення.
- світло-звукова сигналізація на межу 10 % від НКПРП і формування сигналу на включення аварійної вентиляції.

Для цього в автоклавному відділенні використовуються газосигналізатори QE 37a і QE 38a, а в щитовій – QE 39a, сигнали з яких поступають на відповідні входи модуля аналогового вводу контролера.

Вибір технічних засобів автоматизації проводимо виходячи з кількості та виду аналогових та цифрових сигналів, що поступають від датчиків на канали входних модулів контролера, та і вихідних аналогових та які, формуються на каналах вихідних модулів контролера та передаються на виконавчі механізми.

В розробленій автоматизованій системі керування:

- для вимірювання витрати водню та масла використовують витратоміри на основі перетворювача різниці тиску Сапфир-22-ДД-Ех-М [3] з камерною діафрагмою ДК6-050-II [4];
- для вимірювання величини тиску у автоклаві використовуються датчики тиску МТ100Р-14126 [6];
- для вимірювання температури в автоклавах використовуються термоперетворювачі опору ТХКУ-0289-Ех-01 [7];
- для вимірювання температури мильного розчину після теплообмінників 1-ї та 2-ї секцій використовуються термоперетворювачі опору ТХКУ-0289-Ех-01 [8];

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

- для вимірювання концентрації водню в робочих зонах автоклавів та щитовій використовується газосигналізатор моделі Testo 350 [9];
- для подачі живлення на електродвигуни приводів насосів, пневмо-електричні перетворювачі електроклапанів подачі перегрітої пари в автоклави та гарячої води в теплообмінники використовуються безконтактні пускачі ПМ 4-95 [10];
- для індикації роботи виконавчих елементів на щиті використовуються лампочки;
- автоматизована система керування реалізована на основі промислового контролера Simatic S7-200 фірми Siemens;
- у системі використаний центральний процесор моделі CPU 224 [11];
- у системі використовується модуль цифрового вводу/виводу моделі EM 223 [12];
- у системі використовуються модулі вводу аналогових сигналів моделі EM 235 [13];
- для живлення контролера S7-200 використовується блок живлення SITOP Power 24 В 3,5А [14].

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

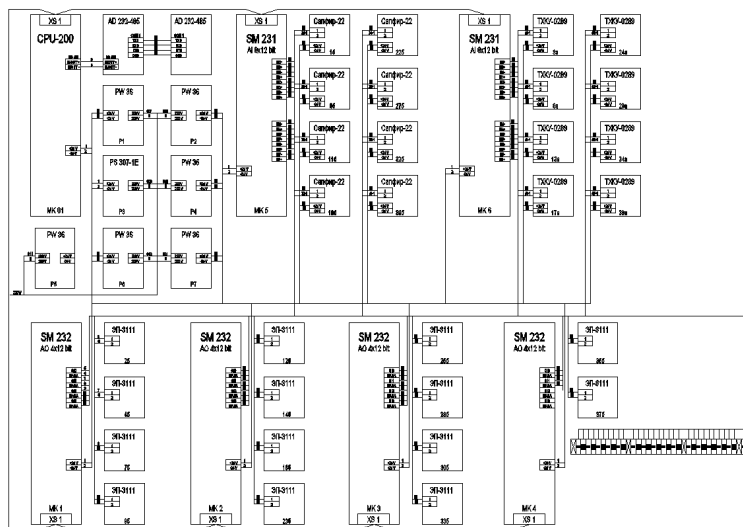


Рисунок 3. – Принципова електрична схема зовнішніх підключень

На основі схеми автоматизації розроблена принципова електрична схема живлення розподільної мережі, що наведена на рис. 4.

Параметр	Вирізати	Тиск	Вирізати	Температура	Вирізати	Вирізати	Тиск	Вирізати	Температура	Вирізати	Вирізати	Тиск	Вирізати	Температура	Вирізати	Вирізати	Вирізати	Загальність
	Вольт	Вольт	Вольт	Хімія	Вольт	Вольт	Вольт	Вольт	Хімія	Вольт	Вольт	Вольт	Вольт	Хімія	Вольт	Вольт	Вольт	
Місце	1-й сектор																	
Категорія	2-й сектор																	
Категорія	3-й сектор																	
Категорія	4-й сектор																	
Категорія	5-й сектор																	
Категорія	6-й сектор																	
Категорія	7-й сектор																	
Категорія	8-й сектор																	
Категорія	9-й сектор																	
Категорія	10-й сектор																	
Категорія	11-й сектор																	
Категорія	12-й сектор																	
Категорія	13-й сектор																	
Категорія	14-й сектор																	
Категорія	15-й сектор																	
Категорія	16-й сектор																	
Категорія	17-й сектор																	
Категорія	18-й сектор																	
Категорія	19-й сектор																	
Категорія	20-й сектор																	
Категорія	21-й сектор																	
Категорія	22-й сектор																	
Категорія	23-й сектор																	
Категорія	24-й сектор																	
Категорія	25-й сектор																	
Категорія	26-й сектор																	
Категорія	27-й сектор																	
Категорія	28-й сектор																	
Категорія	29-й сектор																	
Категорія	30-й сектор																	
Категорія	31-й сектор																	
Категорія	32-й сектор																	
Категорія	33-й сектор																	
Категорія	34-й сектор																	
Категорія	35-й сектор																	
Категорія	36-й сектор																	
Категорія	37-й сектор																	
Категорія	38-й сектор																	
Категорія	39-й сектор																	
Категорія	40-й сектор																	
Категорія	41-й сектор																	
Категорія	42-й сектор																	
Категорія	43-й сектор																	
Категорія	44-й сектор																	
Категорія	45-й сектор																	
Категорія	46-й сектор																	
Категорія	47-й сектор																	
Категорія	48-й сектор																	
Категорія	49-й сектор																	
Категорія	50-й сектор																	

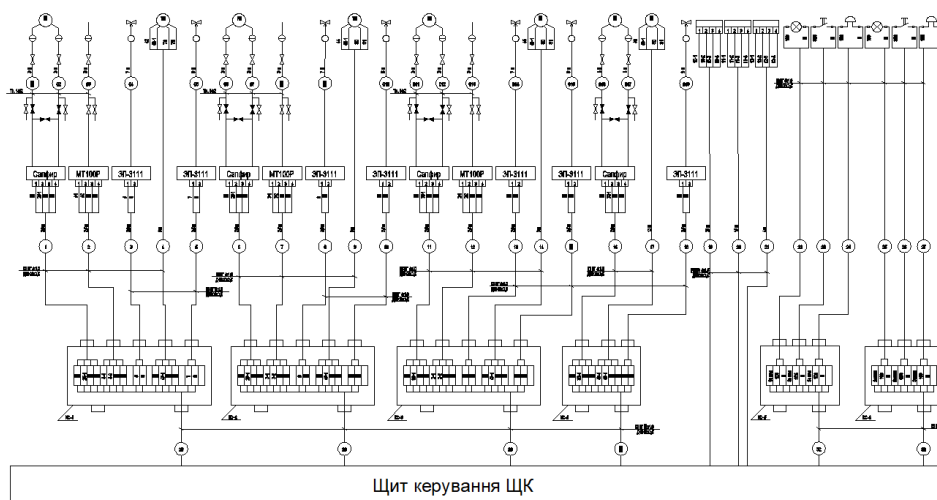


Рисунок 4. – Принципова електрична схема живлення розподільної мережі

Програма функціонування контролера наведена на рис. 5.

6.

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 T1-T3.

На внутрішній площині шафи на DIN-рейки встановлено процесорний модуль контролера Simatic S7-200 моделі CPU 224, 2 модулі цифрового вводу/виводу моделі EM 223, 3 модулі вводу аналогових сигналів моделі EM 235, блок живлення SITOP Power 24 В 3,5А, 14 безконтактних пускачів моделі ПМ 4-95, 18 реле P1-P18 та 6 клемних колодок XT1-XT6.

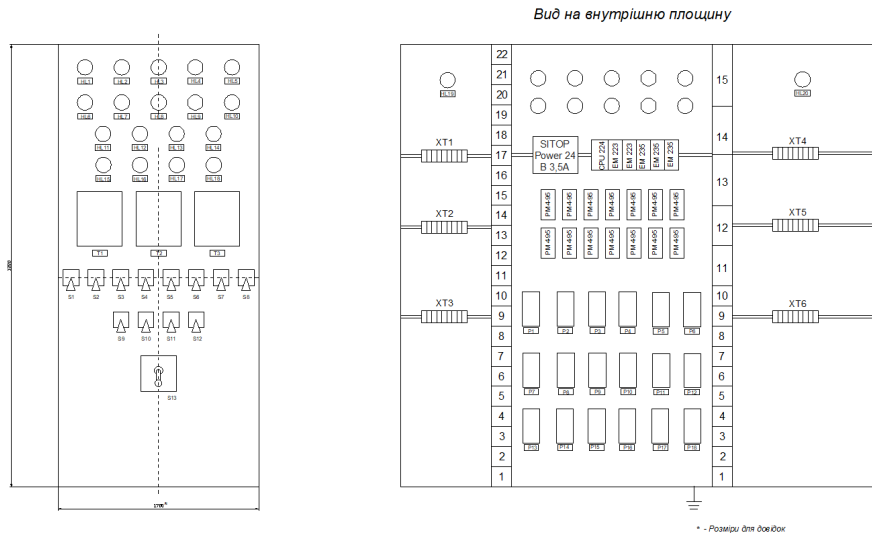


Рисунок 6. – Загальний вигляд щита керування

Для проведення ремонтних робіт всередині шафи передбачені дві лампи накаливання Н19 та Н20, що розраховані на напругу живлення 36 В.

Розроблена принципова електрична схема живлення щита керування, наведена на рис. Оскільки виробництво мила є вибухо- і пожежонебезпечним процесом, тому в розробленій системі автоматизації були використані технічні засоби автоматизації у вибухо- і пожежобезпечному виконанні, та частково пневматичну систему контролю та управління.

Регулювання температури в перших автоклавах батарей здійснюється шляхом зміни витрати пари тиском 2,5 МПа, що може призвести до розриву трубопроводів, або елементів з'єднання, тому проводиться періодичний їх контроль обслуговуючим персоналом. Окрім цього, трубопровід нагрівається, тому він ізолюваний для захисту обслуговуючого персоналу.

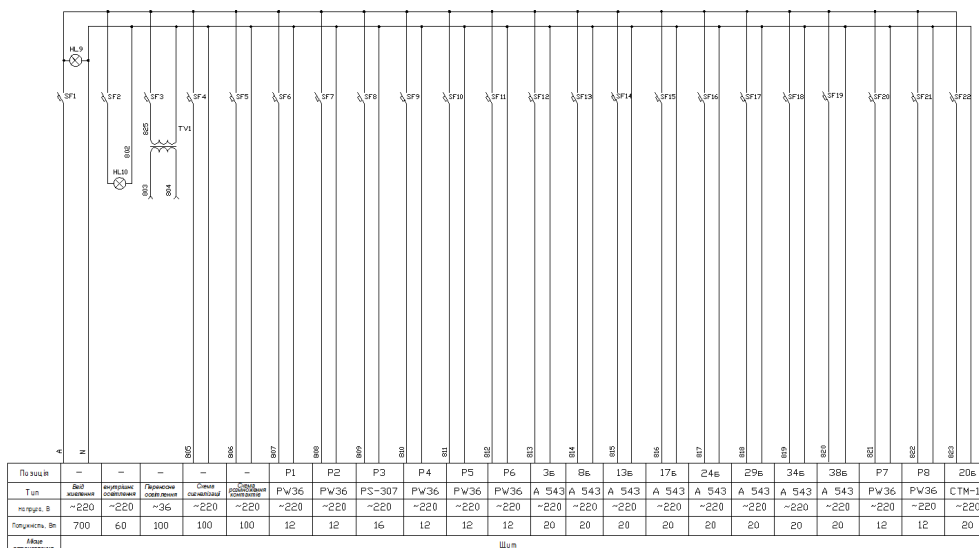


Рисунок 7. – Принципова електрична схема живлення щита керування

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

При підвищенні температури саломаса в 2-му або 3-му автоклавах вище заданого значення внаслідок екзотермічної реакції, потік початкового масла прямує через змійовик 2-го або 3-го автоклава, де воно охолоджується. Це також викликає нагрівання трубопроводів, тому вони також ізольовані для захисту обслуговуючого персоналу.

Вимірювання витрати циркулюючого водню в кожному автоклаві здійснюється камерною діафрагмою ДКС разом з перетворювачем різниці тиску САПФІР-22-ДД.

У кожному автоклаві розміщений датчик тиску Мт100р, який показує значення тиску водню, а в разі перевищення максимально допустимого значення спрацьовує світлова та звукова сигналізація, що передбачені в системі. Для захисту від тиску кожен автоклав обладнаний механічним запобіжним клапаном тиску.

Стандартні струмові сигнали від вимірювальних систем поступають до модуля контролера Em 235 та по локальній шині контролера в цифровому вигляді в модуль центрального процесора CPU-224, де проводиться відповідна їх обробка, і формуються вихідні сигнали, що поступають через модулі дискретного вводу/виводу SM 223 на вхід електропневматичних перетворювачів ЕПП-ЩМ4, що перетворюють дискретний електричний сигнал в стандартний пневматичний. Від нього сигнали поступають на відповідні виконавчі механізми. Таким чином реалізовано додатковий вибухо- та пожежозахист.

Суміш водню з повітрям вибухонебезпечна через дуже широку межу вибухання. Вірогідність вибуху при попаданні водню в приміщення значно зростає, якщо воднево-повітряна суміш контактує з нагрітою поверхнею металу, так само під впливом електричного розряду, металів-катализаторів. Тому схемою передбачено:

- організація контролю 50 % і 10 % від НКПРП вмісту водню в повітрі автоклавного відділення та в щитовій;
- забезпечення світлозвукової сигналізації в автоклавному відділенні та щитовій. Автоматична фіксація випадків на рівні 10 % і 20 % від НКПРП. Світлозвукова сигналізація про 20 % від НКПРП, формування сигналу на ввімкнення аварійної витяжної вентиляції і на відключення живлення всього обладнання автоклавного відділення;
- світлозвукова сигналізація на межу 10 % від НКПРП з формуванням сигналу на ввімкнення аварійної вентиляції, для чого використовується газосигналізатор Testo 350.

Розроблена схема сигналізації наведена на рис. 8.

Для сигналізації загазованості воднем в автоклавному відділенні використовується сигналізатор СТМ-10. Поріг спрацьовування аварійної сигналізації 20-50% НКПР. При цьому спрацьовує аварійна світло-звукова сигналізація в автоклавному відділенні та в щитовій.

Вентиляція автоклавного автоклавного відділення та щитової є приточно-витяжного типу з окремими контурами. Причому на виході в атмосферу встановлені системи очистки, що також включають в себе фільтри.

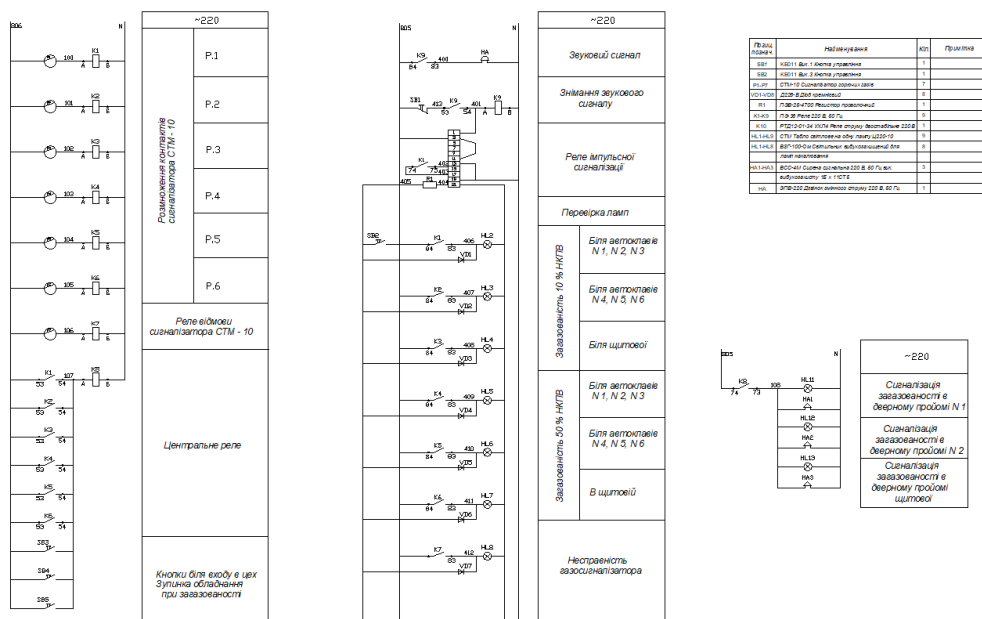


Рисунок 8. – Принципова електрична схема сигналізації

Приміщення автоклавного відділення та щитової обладнані щитами із засобами пожежогасіння, зокрема як пінними так і порошковими вогнегасниками.

В щитовій знаходяться засоби для надання першої долікарської допомоги обслуговуючому персоналу та протигазу для захисту у разі витoku водню.

Висновки:

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Виробництво господарського мила URL: <https://uacredity.com/virobnictvo-gospodarskogo-mila/> (дата звернення 09.10.2022).
2. Як роблять господарське мило? Технологія і обладнання для виробництва мила URL: <https://what.com.ua/iak-robliat-gospodarske-milo/> (дата звернення 09.10.2022).
3. Сапфир 22 ех м ДИ 2140 URL: <https://pribortrade.com.ua/datchiki-davleniya-sapfir/sapfir-22-ex-di-2140/> (дата звернення 09.10.2022).
4. ДКС-0,6-50 - Діафрагма камерна URL: <http://dks.net.ua/dks-06-50> (дата звернення 09.10.2022).
5. МТ100, МТ100Р, МТ100R, МТ100PR Датчик давления избыточного, Разрежения, и Избыточное давление и разрежение URL: <https://www.priborinvest.by/mt100p-mt100r-mt100pr-datchiki-davlenija.html> (дата звернення 09.10.2022).
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 09.10.2022).
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 09.10.2022).
8. Testo 350 Промислові газоаналізатори URL: <https://dp.prom.ua/ua/p912888637-testo-350-promyshlennye.html?&primelead=Mi4x> (дата звернення 09.10.2022).
9. Лампа светодиодная капс. 1,5W G4 12V 2700K, 6400K URL: <https://volt-shop.com.ua/product/lampa-svetodiодnaya-kaps-1-5w-g4-12v-2700k-6400k/> (дата звернення 10.12.2021).
10. Siemens SIMATIC S7-200 CPUs PLC URL: <https://www.s7automation.com/simatic-s7-200/> (дата звернення 10.12.2021).
11. SIMATIC S7-200 PLC CPU 224 DC DC DC 6ES7214-1AD23-0XB0 URL: <https://www.plcskit.com/products/plc-dcs-controller/siemens-s7-200/simatic-s7-200-cpu-224-dc-dc-dc-6es7214-1ad23-0xb0> (дата звернення 10.12.2021).
12. SIMATIC S7-200 EM-223 I/O Module 32 Relay DO 6ES7223-1PM22-0XA0 URL: [SIMATIC S7-200 EM-223 I/O Module 32 Relay DO 6ES7223-1PM22-0XA0 - PLCs Kit](https://www.plcskit.com/products/plc-dcs-controller/siemens-s7-200/simatic-s7-200-em-223-i-o-module-32-relay-do-6es7223-1pm22-0xa0) (дата звернення 10.12.2021).
13. SIMATIC S7-200 EM235 Analog I/O module 6ES7232-0HD22-0XA0 URL: <https://www.plcskit.com/products/plc-dcs-controller/s7-200-analog-modules/simatic-s7-200-em235-analog-i-o-module-6es7232-0hd22-0xa0> (дата звернення 10.12.2021).
14. Блоки живлення SITOP Siemens URL: <https://el-industry.com/siemens1/sitop/> (дата звернення 10.12.2021).

УДК 681.5:004.4(07)

В.О. Сацик¹, О.В.Сацик¹, В.В. Шуба¹, Д.В. Кукірік¹

¹Луцький національний технічний університет.

E-mail: v.satsyk@lutsk-ntu.com.ua

АРХІТЕКТУРА, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ПРОТОКОЛІВ В СИСТЕМІ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Розробка програмних продуктів для пристроїв Інтернету Речей (IoT) пов'язана з вирішенням безлічі непростих завдань, одним з яких є вибір відповідного протоколу для обміну інформацією. Пристрої Інтернету Речей мають ряд особливостей, таких як низька продуктивність, невеликий обсяг пам'яті, короткий час автономної роботи і т.д., що накладає відповідні обмеження на вибір протоколу зв'язку.

У статті розглядається проблема взаємодії пристроїв Інтернету Речей на прикладному рівні мережевої моделі, а також проводиться дослідження протоколів прикладного рівня щодо кількості, якості, універсальності технічних реалізацій та робляться рекомендації щодо вибору оптимального рішення для конкретних проектів. Зокрема представлено огляд та порівняння популярних протоколів прикладного рівня для Інтернету Речей: MQTT (MQTTS, MQTT-SN), HTTP (HTTPS, HTTP/2), CoAP, AMQP, DDS, XMPP, OPC UA.

У висновку представлений порівняльний аналіз протоколів та результати експериментального порівняння їх продуктивності.

Дана робота реалізована в рамках гуртка «Технології IoT».

Ключові слова: Інтернет Речі, протоколи передачі даних, прикладний рівень, технічні реалізації, сумісність пристроїв.

V. Satsyk, O. Satsyk, V. Shuba, D. Kukurik Architecture, application advantages and disadvantages application protocols in the Internet of Things system

The development of software products for Internet of Things (IoT) devices involves solving many difficult tasks, one of which is the choice of an appropriate protocol for information exchange. Internet of Things devices have a number of features, such as low performance, small amount of memory, short battery life, etc., which imposes appropriate restrictions on the choice of communication protocol.

The article examines the problem of interaction of Internet of Things devices at the application level of the network model, and also conducts a study of application-level protocols regarding the number, quality, universality of technical implementations, and makes recommendations for choosing the optimal solution for specific projects. In particular, an overview and comparison of popular application-level protocols for the Internet of Things is presented: MQTT (MQTTS, MQTT-SN), HTTP (HTTPS, HTTP/2), CoAP, AMQP, DDS, XMPP, OPC UA.

The conclusion presents a comparative analysis of the protocols and the results of an experimental comparison of their performance.

This work was implemented within the framework of the "IoT Technologies" group.

Keywords: Internet of Things, data transfer protocols, application level, technical implementation, device compatibility.

Постановка проблеми. Інтернет Речей (англ. Internet of Things, IoT), далі за текстом буде використовуватися аббревіатура IoT, на сьогоднішній день дуже бурхливо розвивається, його вже застосовують у багатьох сферах життєдіяльності людини (промисловість, сільське господарство, медицина, споживчий сектор, військова галузь).

Компанія IoT Analytics, що займається всебічним дослідженням ринку даної технології, у своїх найсвіжіших звітах (листопад 2020 року) зазначає, що до 2025 року кількість IoT-пристроїв досягне позначки 30,9 мільярда одиниць, що перевищує показники 2019 року в 3 рази, а також становить 75% від загальної кількості пристроїв, що мають вихід до мережі [1].

Як і будь-яка, відносно нова, технологія, Інтернет Речей стикається з різними бар'єрами, що в тій чи іншій мірі перешкоджають сталому розвитку технології. Однією з основних є взаємодія елементів системи (кінцеві пристрої, сервери, проміжне обладнання, хмарні сервіси тощо) між собою, а також їхня сумісність. За оцінкою інституту аналітики McKinsey&Company, яку він опублікував у своєму звіті, від вирішення проблем взаємодії та сумісності залежить 40%

прогнозованої оцінки ринку IoT-технологій до 2025 року [2]. Коріння цієї проблеми сягає в мережевий рівень архітектурної моделі IoT-систем, всередині якого описуються всі процеси, протоколи і стандарти, пов'язані з взаємодією елементів мережі між собою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мережевий рівень архітектурної моделі IoT-систем представлений універсальною мережевою моделлю TCP/IP, яка є стислішою версією популярної моделі OSI [3]. Модель описує різні протоколи (для кожного шару характерні свої технічні рішення, що відрізняються розв'язуваними завданнями та організацією), а також інші технології, які організують мережу та забезпечують її функціонування.

Постановка завдання. Встановити найбільш технічно придатні та використовувані протоколи в системі IoT, які відповідають вимогам і завданням даних систем

Виклад основного матеріалу У рамках нашої роботи розглядається лише прикладний рівень (рівень додатків) мережевої моделі, який забезпечує обмін повідомленнями між учасниками мережі, а також виступає як інтерфейс для кінцевих користувачів [3]. Основними протоколами, що становлять даний рівень у контексті IoT-систем, є: MQTT (MQTTS, MQTT-SN), HTTP (HTTPS, HTTP/2), CoAP, AMQP, DDS, XMPP, OPC UA [4; 5]. Вищевказані протоколи активно використовуються для реалізації IoT-систем, однак вони можуть серйозно відрізнитися один від одного за принципом функціонування, структурою мережі, форматом даних, що передаються [5], але в контексті поточної роботи нас цікавлять тільки технічні реалізації, що існують для даних протоколів, а саме якість їхньої документації, універсальність, сумісність з мовами програмування та апаратним забезпеченням різних виробників.

За кожною конкретною технологією проведено теоретичний огляд, що включає пошук існуючих реалізацій, їх вивчення, аналіз реалізованих проєктів, читання документації (у разі її наявності), відгуків, а також експериментальне тестування на обладнанні, що представлено на рисунку 1.

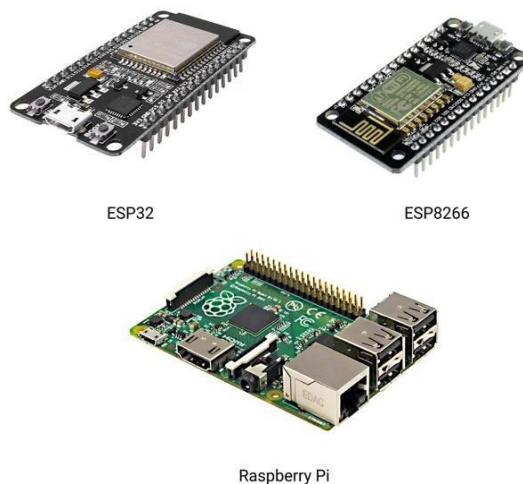


Рисунок 1. Апаратне забезпечення тестових IoT-систем

Як кінцеві пристрої (датчики, актюатори), або проміжне обладнання (брокери, сервери, шлюзи) використовуються макетні плати, побудовані на основі дуже популярних в IoT-середовищі мікроконтролерів компанії Espressif (ESP32, ESP8266) [6], а також одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 1 Model B [7] і персональний комп'ютер, що добре підходить в якості застосування клієнта IoT-систем. Даний набір апаратного обладнання (рис. 1) дуже широко використовується, що дозволяє зробити оцінку реалізацій на його основі більш значущою.

Протоколи аналізуються за такими параметрами, що характеризують їх існуючі реалізації (оцінка для кожного параметра виставляється за сукупним числом вивчених реалізацій для кожного конкретного протоколу).

- Документація (її якість, обсяг, підтримка).
- Сумісність із популярним програмним забезпеченням (мови програмування, середовища розробки).
- Сумісність із апаратним забезпеченням (рис. 1).
- Додатковий інструментарій (панелі управління та моніторингу, хмарні сервіси, клієнтські програми).
- Відповідність цілям та завданням IoT-систем.

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

Нижче наведено коротке резюме, складене в результаті аналізу, а також отримані дані представлені у зручній для роботи формі.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) розроблений спеціально для IoT-систем, на даний момент є практично протоколом за замовчуванням для безлічі завдань у сфері IoT, що сприяє його адаптації під більшість відомих програмних та апаратних платформ, а також розробці різноманітних додаткових інструментів та сервісів. Ресурс [8] містить вичерпний список MQTT-реалізацій (клієнти, брокери, хмарні платформи, додаткові інструменти), що покривають усі основні мови програмування, платформи розробки та обладнання. При реалізації тестової IoT-системи не виникло жодних проблем, використовувалася реалізація Eclipse Mosquitto [9] для MQTT-брокера, а також клієнтські бібліотеки для середовища Arduino UDE [10]. В наявності якісна документація, а також готові приклади програм, що суттєво економить час. Протокол також має модифікацію MQTT-SN, яка є більш полегшеною версією, що працює тільки всередині мережі кінцевих пристроїв. Ця модифікація поки не має широкого списку апаратного та програмного забезпечення, що підтримується.

HTTP (HyperText Transfer Protocol) широко відомий як основний протокол передачі даних у мережі Інтернет, тому він підтримується практично всіма апаратними та програмними платформами за умовчанням. Для реалізації IoT-системи використовувалися стандартні бібліотеки у рамках Arduino IDE. Також слід зазначити, що протокол дуже добре документовано. Приблизно така само ситуація з його модифікацією HTTP/2, проте для неї спектр реалізацій дещо гірший [11]. Мінусом цього протоколу, в порівнянні з іншими розглянутими технологіями, є те, що він не створювався для IoT-систем, тому HTTP не є оптимальним рішенням для більшості завдань.

CoAP (Constrained Application Protocol) за великим рахунком є адаптацією протоколу HTTP під цілі та завдання IoT-систем. Є хороша специфікація, а також реалізації під більшість мов програмування [12], однак сумісність та кількість доступних інструментів дещо нижче, порівняно з MQTT та HTTP. Тестова IoT-система була успішно реалізована, проте використовувалася маловідома реалізація [13], що практично не має документації, також є проблеми клієнтських інструментів (інтерфейс, відсутність підтримки більшості браузерів).

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) за структурою мережі аналогічний MQTT, проте володіє дуже гнучким налаштуванням елементів мережі, особливо це стосується брокера (основний елемент AMQP-системи). Протокол має велику кількість реалізацій [14], адаптованих під більшість програмних та апаратних засобів, багато з них мають дуже хорошу документацію та широке співтовариство розробників. Для реалізації демонстраційної IoT-системи був використаний RabbitMQ [15], це, мабуть, найпопулярніша та високоякісна реалізація протоколу AMQP, проте клієнтські функції вдалося реалізувати лише на базі ПК. Макетні плати вдалося включити в систему лише через MQTT, який також може інтегруватися з RabbitMQ-брокером через вбудований механізм трансляції даних між AMQP і MQTT протоколами.

OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) використовується для автоматизації та керування за допомогою web-взаємодії. Також має достатню кількість реалізацій [16], проте документування залишає бажати кращого. Для IoT-системи на базі макетних плат Espressif ESP8266 і ESP32 вдалося запустити даний протокол, проте розкрити весь його потенціал не вдалося через відсутність необхідної інформації щодо роботи з даною технічною реалізацією (бібліотекою).

DDS (Data Distribution Service) є одним із найперспективніших рішень для IoT-систем, що дозволяє зв'язувати елементи мережі без посередників. Протокол не має великої кількості реалізацій з відкритим вихідним кодом, бібліотека OpenDDS [17], проте це рішення не підтримує плати Espressif, через що не вдалося побудувати демонстраційну IoT-систему. Також не вдалося знайти інші придатні для конкретного набору апаратного та програмного забезпечення рішення.

XMPP (eXtensible Messaging and Presence Protocol) спочатку створений для обміну повідомленнями між користувачами мережі, проте згодом став використовуватися для ширшого спектра завдань. Протокол добре документований і має безліч реалізацій [18], у тому числі спеціально розроблена версія протоколу для IoT-систем [19]. Також не вдалося реалізувати XMPP-клієнти через погану документацію бібліотек для продуктів Espressif.

Більш наочно, результати дослідження зведені в єдину таблицю та представлені у вигляді оцінки за кожним параметром (описані вище за текстом) для конкретного протоколу представлені в таблиці 1. Оцінки проставлені за 4-бальною шкалою (в балах) від найгіршого значення до

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

найкращого, також по кожному протоколу пораховано середнє арифметичне для всіх параметрів і наведені посилання на списки найпопулярніших технічних реалізацій.

Таблиця 1.

Результати аналізу протоколів прикладного рівня на предмет технічної реалізацій в IoT системах

Протокол	Документація	Підтримка		Додаткові інструменти	Орієнтація на IoT	Середній балл	Реалізації
		ПО	АО				
MQTT	4	4	4	4	4	4,0	[8; 9]
HTTP (HTTP/2)	4	4	4	4	1	3,4	[11]
CoAP	3	3	4	3	4	3,4	[12; 13]
AMQP	4	4	3	4	4	3,8	[14; 15]
DDS	2	2	2	2	4	2,4	[17]
XMQP	2	2	2	2	3	2,2	[18; 19]
OPC UA	1	2	3	2	3	2,2	[16]

Висновки. Резюмуючи отримані результати, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день в IoT-середовищі лідирують протоколи MQTT, AMQP, CoAP (відносно існуючих технічних реалізацій протоколу), інші розглянуті протоколи перебувають у стадії розвитку, або не задовольняють вимогам та завданням IoT-систем. На основі дослідження можна рекомендувати протоколи, що добре показали себе (MQTT, AMQP, CoAP, HTTP), якщо вони задовольняють вимогам і завданням цільових систем, або цільова система є простою і не запитує специфічних конфігурацій (навчальні стенди, демонстраційні проекти, автоматизація для приватних споживачів), тощо.

Крім того варто відмітити, що у процесі створення мережі для додатків IoT вам потрібно врахувати кілька важливих моментів. Найважливіші з яких є тип мережі, яку потрібно використовувати: LPWAN (LoRaWAN, NB-IoT), PAN (Bluetooth) або LAN (WiFi); та мережевий протокол, який буде реалізовано з ним. Цей протокол керуватиме передачею даних і контролюватиме безпеку доставки [20].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. IoT Analytics: State of the IoT 2020, 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time> (дата звернення 30.11.2022).
2. McKinsey Global Institute: Report [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/mgi/overview> (дата звернення 30.11.2022).
3. IBM Developer: Connecting all the things in the Internet of Things [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://developer.ibm.com/technologies/iot/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/> (дата звернення 30.11.2022).
4. Лі П. Архитектура интернет речей [Текст] / Перри Ли; пер. з англ. М.А. Райтмана. — К.: Дім Книги, 2019. — 454 с.: іл.
5. Гойхман В., Савельєва А. Аналітичний огляд протоколів Інтернет речей // Журнал «Технології і засоби зв'язку» №4. 2016. С. 32-37. Espressif Modules [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.espressif.com/en/products/modules> (дата звернення 30.11.2022).
6. Espressif Modules [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.espressif.com/en/products/modules> (дата звернення 30.11.2022).
7. Raspberry Pi 1 Model B+ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-1-model-b-plus/> (дата звернення 30.11.2022).
8. GitHub: Awesome MQTT [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://github.com/hobbyquaker/awesome-mqtt> (дата звернення 30.11.2022).
9. Eclipse Mosquitto: An open source MQTT broker [Електронний ресурс]. — Режим

доступу: <https://mosquitto.org> (дата звернення 30.11.2022).

10. Arduino Software [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software> (дата звернення 30.11.2022)

11. GitHub: HTTP/2 Implementations [Електронний ресурс]. — <https://github.com/httpwg/http2-spec/wiki/Implementations> (дата звернення 30.11.2022).

12. COAP: Implementations [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://coap.technology/impls.html> (дата звернення 30.11.2022)

13. GitHub: COAP Simple Library [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://github.com/hirotakaster/CoAP-simple-library> (дата звернення 30.11.2022).

14. GitHub: Awesome AMQP [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://github.com/xinchen10/awesome-amqp> (дата звернення 30.11.2022).

15. RabbitMQ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.rabbitmq.com> (дата звернення 30.11.2022).

16. GitHub: List of Open Source OPC UA Implementations [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://github.com/open62541/open62541/wiki/List-of-Open-Source-OPC-UA-Implementations> (дата звернення 30.11.2022).

17. GitHub: OpenDDS [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://github.com/objectcomputing/OpenDDS#documentation> (дата звернення 30.11.2022).

18. XMPP Software [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://xmpp.org/software/> (дата звернення 30.11.2022).

19. XMPP-IOT [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.xmpp-iot.org> (дата звернення 30.11.2022).

20. Посібник із електронної книги LoRaWAN. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.nexpcb.com/blog/different-data-protocols-which-one-to-choose> (дата звернення 30.11.2022).

УДК 681.1; 621.3; 621.7

В.П. Симолюк, А.А. Тимошук

Луцький національний технічний університет

e-mail: v.symonyuk@lntu.edu.ua

ДО ВИГОТОВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ТА КРИХКИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-ДРУКУ

Анотація. У статті розглядаються важливі сучасні технічні досягнення в галузі техніки, матеріалів і програмного забезпечення які відкрили можливість 3D-друку за технологією SLS ширшому колу галузей, особливо при виготовленні невеликих за розміром та крихких по структурі деталей мікро- та наносистемної техніки. Виявлено, що позитивним моментом є те, що більша частина сипучого порошку може бути відходами виробництва, що знижує матеріальні витрати і робить SLS більш стійкою технологією, ніж лиття під тиском або механічна обробка. І, порівняно з інструментами, необхідними для створення одиничних або короткострокових деталей та прототипів на замовлення за допомогою лиття під тиском, 3D-друк SLS виявляється більш доступним рішенням. Також, запропоновано вдосконалити робочий прилад шляхом використання магнітного поля. Магнітне поле малої сили буде використовуватись для закріплення і утримування часток металічного порошку.

Ключові слова: сипучий порошок, 3D-друк, магнітне поле, крихкі деталі, мікро- та наносистемна техніка, частки металічного порошку.

V.P. Simonyuk, A.A. Timoshchuk. To the manufacture of small and fragile parts using 3d printing.

The article discusses important modern technical achievements in the field of technology, materials and software that have opened up the possibility of 3D printing using SLS technology to a wider range of industries, especially in the production of small-sized and fragile micro- and nanosystem engineering parts.

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

A positive point was found to be that most of the loose powder can be production waste, which reduces material costs and makes SLS a more sustainable technology than injection molding or machining. And, compared to the tooling needed to create one-off or short-run parts and custom prototypes using injection molding, SLS 3D printing is proving to be a more affordable solution. It is also proposed to improve the working device by using a magnetic field. A low-power magnetic field will be used to fix and hold the metal powder particles.

Keywords: *loose powder, 3D printing, magnetic field, fragile parts, micro- and nanosystem engineering, metal powder particles.*

Постановка проблеми. 3D-друк методом селективного лазерного спікання (SLS) - це технологія, якій довіряють інженери та виробники в різних галузях, адже вона дає змогу створювати міцні та функціональні моделі. Селективне лазерне спікання (SLS) - це технологія адитивного виробництва, в якій використовується потужний лазер для спікання дрібних частинок полімерного порошку в міцну структуру на основі 3D-моделі.

3D-друк за технологією SLS був популярним серед інженерів і виробників протягом десятиліть. Завдяки низькій собівартості моделі, високій продуктивності та поширеним матеріалам ця технологія чудово підходить для вирішення широкого спектра завдань: від швидкого прототипування до виробництва в малих обсягах, виготовлення обмежених пробних партій або створення виробів за індивідуальним замовленням. Останні досягнення в галузі техніки, матеріалів і програмного забезпечення відкрили можливість друку за технологією SLS ширшому колу компаній. Раніше такі інструменти використовувалися лише в кількох високотехнологічних галузях.

Метод адаптований для роботи з різними матеріалами, серед яких пластмаси, метали, скло, кераміка та різноманітні порошкові композиційні матеріали. Сьогодні всі ці технології класифікуються як синтез на підкладці - адитивні виробничі процеси, за допомогою яких виконується вибіркове спікання областей порошкового шару під впливом теплової енергії.

На даний момент існують дві найпоширеніші системи синтезу на підкладці - це метод на основі пластмаси, зазвичай званий селективним лазерним спіканням (SLS), і метод на основі металу, відомий як пряме лазерне спікання металів (DMLS) або селективне лазерне плавлення (SLM). До недавнього часу обидві системи були дуже дорогими і складними, що обмежувало їхнє використання виробництвом невеликих партій дорогих моделей або виробів за індивідуальним замовленням, таких як аерокосмічні компоненти або медичні пристрої.

Завдяки інноваціям у цій галузі метод SLS на основі пластику стане таким самим доступним, як і інші технології 3D-друку, наприклад стереолітографія (SLA) і моделювання методом наплавлення (FDM), і набуде широкого поширення у вигляді доступних, компактних систем.

Моделі, створені за допомогою 3D-друку за технологією SLS, мають чудові механічні характеристики: їхня міцність порівнянна з міцністю моделей, відлитої під тиском. Десятки років селективне лазерне спікання було однією з найпопулярніших професійних технологій 3D-друку, але через складність, суворі вимоги та високу ціну його могли застосовувати тільки сервісні бюро та великі підприємства.

У традиційних промислових системах 3D-друку за технологією SLS встановлено один або кілька потужних лазерів. Для запобігання окисленню і руйнуванню порошку в процесі друку потрібне інертне середовище (азот або інші гази), що вимагає наявності спеціалізованого обладнання для обробки повітря. Для таких установок також необхідні спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВКВ) і промислове електропостачання. Крім того, навіть найменші промислові установки займають значну площу. Через високу початкову вартість приблизно традиційні промислові системи з технологією SLS були недоступні для багатьох підприємств.

Особливість селективного лазерного спікання - в тому, що для побудови геометрично складних деталей не використовується матеріал підтримки. У ролі підтримуючої структури виступає порошок, який не зазнав впливу лазерного променя. Матеріали для 3D-друку за технологією SLS - пластикові порошки з домішками, що мають різні механічні властивості. Широкий вибір матеріалів дає підприємствам, які впровадили SLS-технологію, додаткову гнучкість.

Відсутність підтримок дає можливість моделювати складну геометрію (як внутрішніх елементів, так і цілого виробу), якої не можна домогтися під час створення виробів традиційними методами. Крім того, виключається ризик пошкодження надрукованої деталі. Як результат - значна економія часу на складання і коштів на матеріали. Ще одна важлива вигода, яку дає технологія, -

великий обсяг камер побудови. Це дає можливість надрукувати досить великі об'єкти або невелику партію за одну сесію.

Технологія забезпечує високу швидкість друку. Оскільки вона не передбачає повного розплавлення частинок матеріалу, SLS-установки більш продуктивні, ніж інші 3D-принтери, що працюють із порошками. Моделі та прототипи, створені методом SLS, мають чудові механічні характеристики: вони вирізняються міцністю, гнучкістю, хорошою деталізацією і термічною стабільністю. SLS-технологія не має собі рівних, коли стоїть завдання виготовити довговічні пластикові продукти. У плані міцності отриманих виробів селективне лазерне спікання конкурує з традиційними способами виробництва, такими як лиття під тиском.

Як і у всіх адитивних технологій, у SLS-методу є мінуси:

- Надруковані деталі потребують охолодження протягом досить тривалого часу, аж до 12 год., що уповільнює виробничий процес.
- Висока пористість поверхні надрукованих моделей, потрібна не дуже проста постобробка.
- Часті проблеми під час друку - усадка і деформація моделей.
- Утворюється багато відходів порошку, які не підлягають переробці.
- Особливі вимоги до приміщення та умов експлуатації (головне - це фільтрація повітря під час кондиціонування, оскільки порошок шкідливий).

Постановка завдання. Відомий своєю здатністю неймовірно швидко створювати деталі інженерного класу з відмінними механічними властивостями та високою роздільною здатністю, 3D-друк SLS (селективне лазерне спікання) - це те, до чого звертаються інженери та промислові дизайнери для швидкого створення функціональних прототипів та деталей кінцевого використання.

Розвиток технологій зробив SLS-принтери більш доступними та компактними. Ще не так давно всі SLS-принтери були громіздкими і дорогими. Зараз на ринку є велика кількість зручних для офісу настільних SLS 3D-принтерів, і навіть машини промислового розміру стали менш дорогими в порівнянні з традиційними методами виробництва. 3D-друк SLS може створювати деталі, які одночасно є дрібно деталізованими, міцними, довговічними, термостійкими та гнучкими (коли це необхідно).

Виробники принтерів часто позиціонують те, що SLS-друк конкурує з продуктами лиття під тиском з точки зору міцності та точності. У порівнянні з литтям під тиском, 3D-друк дозволяє створювати деталі, які мають внутрішні канали, решітчасті структури та інші особливості, неможливі при литті.

SLS також пропонує високий ступінь передбачуваності матеріальних і механічних властивостей, тому він популярний в аерокосмічній, медичній та регульованих галузях промисловості. Крім того, SLS-друк здебільшого не потребує підтримки, що розширює можливості проектування та виробництва дуже складних геометричних форм. Ця технологія популярна для функціональних прототипів, моделей оцінки дизайну, невеликих виробничих циклів, споживчих товарів кінцевого використання та тестування продукції, серед інших застосувань. Галузі, які особливо зацікавилися SLS, включають:

- Автомобільна (приспосовування та пристосування, прототипи автомобілів)
- Аерокосмічна (прототипи, інструменти, повітроводи)
- Медицина та охорона здоров'я (протезування)
- Побутова електроніка (корпуси, прототипи)
- Військова промисловість (запасні частини, рукоятки)
- Важка промисловість (моделі для лиття в піщані форми, оснащення)

SLS 3D друк на сьогоднішній день більш широко використовується, але це не досконала технологія. Незважаючи на свої досягнення, SLS-друк все ще залишається відносно дорогим, а робота з порошком може бути брудною, якщо робити це вручну. Додаткові пристрої для розпилення порошку, такі як Formlabs Fuse Sift, зменшують неточності, але вони підвищують загальну вартість інвестицій в SLS. Машини більш високого класу і промислового рівня можуть пропонувати рішення для розпилення.

Позитивним моментом є те, що більша частина сипучого порошку може бути перероблена, що знижує матеріальні витрати і робить SLS більш стійкою технологією, ніж лиття під тиском або механічна обробка. І, порівняно з інструментами, необхідними для створення одиничних або

короткострокових деталей та прототипів на замовлення за допомогою лиття під тиском, 3D-друк SLS зазвичай виявляється більш доступним рішенням.

Зовсім не обов'язково купувати систему 3D-друку SLS, щоб отримати деталі, надруковані на 3D-принтері SLS. Інший, потенційно більш економічний і простий спосіб – скористатися послугами професійної служби 3D-друку. Це також відмінний спосіб поекспериментувати з відбитками SLS, перш ніж інвестувати у власну машину.

Сторонні служби 3D-друку (також звані сервісними бюро), такі як Shapeways, i.Materialise, Sculpteo, Protolabs і багато інших, мають промислові SLS 3D-принтери і експертів з 3D-друку на місці, щоб забезпечити оптимальний друк вашої деталі.

Однак просіювання всіх варіантів, щоб знайти найкращу ціну та якість друку, може бути складним завданням. Щоб допомогти в цьому, є платформа порівняння послуг 3D-друку Craftcloud, яка дозволяє миттєво порівнювати ціни на 3D-друк SLS для декількох деталей в одному кошику, змішуючи і зіставляючи пропозиції, щоб отримати найнижчу вартість або найшвидший час виконання, а іноді і те, і інше. (В інтересах повного розкриття інформації Craftcloud працює незалежно в рамках бізнес-структури All3DP).

Якщо є зацікавленість в друці більше, ніж просто декількох деталей, але все одно потрібно передати виробництво SLS на аутсорсинг, деякі виробники принтерів також пропонують послуги друку. До них відноситься EOS, який пропонує контрактне виробництво для кінцевих продуктів, що виготовляються адитивно, через свою мережу постачальників послуг друку.

Виклад основного матеріалу. Селективне лазерне спікання – це метод плавлення порошкового шару з використанням потужного лазера для вибіркового спікання (а не плавлення) частинок полімерного порошку, з'єднуючи їх разом за допомогою тепла і тиску пошарово, поки не буде виготовлений 3D-дизайн.

Процес починається з нагрівання бункера для порошку і робочої зони до температури трохи нижче температури плавлення полімеру. Лезо для нанесення покриття розподіляє тонкий шар порошку по робочій платформі. Потім лазер (або лазери) сканує контур наступного шару і розпилює частинки порошку. Щоб переконатися, що деталь повністю суцільна, сканується весь поперечний переріз потрібного компонента. Після того, як шар завершений, платформа переміщується вниз, і лезо повторно покриває поверхню чистим шаром порошку. Цей процес повторюється до тих пір, поки деталь або деталі не будуть завершені.

Після завершення процесу друку виконується значна кількість постобробки. Контейнер повинен охолонути, перш ніж деталь можна буде витягти, і цей процес охолодження може зайняти кілька годин. Після того, як деталь виймається з камери складання, вона очищається щіткою, станцією стисненого повітря або іншою формою піскоструменевої техніки. Сипучий порошок, що залишився після процесу друку, може бути зібраний і перероблений під час наступного завдання друку.

При правильному використанні SLS 3D-друк має ряд переваг в порівнянні з іншими цифровими технологіями виробництва. Те, чи підходить ця технологія для конкретних потреб у створенні прототипів або виробництві, залежить від застосування, конструкції деталі та необхідного матеріалу.

Чи всі SLS-принтери можуть друкувати з усіма SLS-матеріалами? На жаль, ні. Деякі SLS-принтери можуть друкувати лише двома найпоширенішими матеріалами (PA 12 і PA 11), тоді як інші можуть друкувати набагато більшою кількістю матеріалів. Деякі принтери мають лазери, недостатньо потужні для певних матеріалів, тоді як багато виробників пропонують матеріали, які були спеціально розроблені для найкращого друку на їхніх принтерах.

Завжди потрібно з'ясувати у виробника принтера, які матеріали схвалено для використання, оскільки, хоча деякі матеріали можуть працювати, відбиток може не мати обіцяної міцності або гнучкості, якщо він не надрукований на схваленій машині.

Принтер SLS з відкритою системою матеріалів може виробляти якісні деталі з широкого спектру матеріалів, що поставляються настільки ж широким спектром виробників. Машина SLS із закритою системою схвалена для використання тільки матеріалів, рекомендованих одним виробником (зазвичай виробником принтера). Як правило, відбитки SLS мають матову, шорстку поверхню, яку можна згладити за допомогою постобробки.

В даному напрямку ми відпрацьовуємо можливості вдосконалити робочий прилад за допомогою використання магнітного поля. Магнітне поле малої сили буде використовуватись для закріплення і утримування часток металічного порошку. Це допоможе усунути вплив мікрівбрацій,

що значно покращить точність отримуваної деталі. Магнітне поле не вплине на якість сплавлення часток порошку.

Використання магнітного поля має ще одну мету. В аналогічних пристроях порошок утримується в друкувальному резервуарі силою тяжіння. Коли прокатується валик, який наносить новий шар порошку, він не дає товщину шару, яка дорівнює товщині однієї частинки порошку. Це означає, що отримуваний, за допомогою валика, шар порошку може містити в два, три і більше шарів частинок. Це значно погіршує точність і міцність отримуваної деталі, оскільки лазер розрахований на сплавлення одного шару часток, тому він не зможе надійно спаяти поверхню, де є одна частинка зверху, і ще одна частинка під нею. Отримувана деталь може мати погано спаяні між собою мікрочастинки. Це в подальшому призведе до появи мікротріщин, що можуть призвести до руйнування деталі, або до пришвидшеного зношування.

Вирішити цю проблему можна за допомогою магнітного поля. Різниця мас, хімічний склад і намагнічуваність частинок порошку між собою дуже мала, тому нею можна нехтувати. В такому разі, можна використати дуже точний електромагніт, і створити за допомогою нього магнітне поле такої сили, яка необхідна для утримування шару порошку, який складається тільки з одного рівня частинок порошку. Таким чином, інші рівні частинок порошку не будуть утримуватись магнітним полем, і від них можна позбутись прокатуванням валика.

Коли необхідно нанести ще один шар порошку, ми збільшуємо напругу на електромагніт так, щоб можна було намагнітити новий шар частинок порошку і прокатуємо валиком. Таким чином ми отримуємо новий шар частинок порошку, ідеально точний, гладкий і рівний, і крім того, захищений від мікровібрацій, зовнішніх електричних полів, і зміщень, пов'язаних із прокатуванням валика. Це дозволить нам отримати шар порошку товщиною до 0,01 мм, що в 11 разів менше, ніж в обраному прототипі приладу Fuse 1, від компанії Formlabs, і більш ніж в 7 разів менше, ніж в більшості аналогів інших компаній.

Висновок. Зазначений вище орієнтовний результат повинен забезпечити зменшення товщини шару порошку дозволить зменшити необхідну потужність лазера, а значить і зменшити витрати енергії, що вплине, на економічність виробу. З іншої сторони, сила магнітного поля, яке буде використовуватись є дуже мала, тому великих витрат енергії на неї також не буде. Витрати енергії на такий 3d принтер з магнітним полем, будуть менші, або приблизно такі ж як і у аналогів, але точність нашого приладу буде в 6 — 10 разів більшою. Ми зможемо отримувати складні, і дуже надійні деталі з мікроскопічною деталізацією поверхні. Неточності і проблеми зі спаюванням частинок порошку будуть усунуті в таких деталях. Це відкриє перед нами нові можливості в створенні найскладніших деталей і приладів на мікроскопічному рівні. Це можуть бути деталі в найрізноманітніших приладах і галузях: від дорогих механічних годинників і прикрас, до приладів космічної, авіаційної промисловості, мікро-медицини і мікро-робототехніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. The Different SLS 3D Printers on the Market. [Електронний ресурс] / Published on July 14, 2022 by Niru K. – Режим доступу: <https://www.3dnatives.com/en/different-sls-3d-printers-220320184/>
2. The Best SLS 3D Printers of 2022. [Електронний ресурс] / by Пе Kauppila. Updated Mar 15, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/#sintratec-kit>.
3. Selective Laser Sintering [Електронний ресурс] / Protolabs, 2022– Режим доступу: <https://www.protolabs.com/services/3d-printing/selective-laser-sintering/>
4. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. [Електронний ресурс] / Formlabs, 2022 – Режим доступу: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
5. What is SLS 3D printing? [Електронний ресурс] / Sinterit, 2022 – Режим доступу: <https://sinterit.com/blog/sls-technology/what-is-sls-3d-printing/>
6. SLS 3D Printing – The Ultimate Guide. [Електронний ресурс] / by Carolyn Schwaar. Published Jul 21, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/sls-3d-printing-the-ultimate-guide/>

УДК 621.314.1

Стьопкін В.В., Румянцев О.В., Колесник С.І., Нетудихатка О.В.

Український державний університет науки і технологій

E-mail: vasilstopkin@gmail.com

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

У роботі розглядається актуальність, принцип функціонування та причини виникнення систем прямого керування моментом Direct torque control (DTC) асинхронного двигуна. Автором виконано дослідження математичної моделі прямого керування моментом асинхронного двигуна у MATLAB, виявлені основні недоліки. Основною задачею, від вирішення якої залежить робота системи прямого керування моментом є ідентифікація потокозчеплення статора. Це вирішується інтегруванням, що призводить до накопичення помилок. Джерелом появи помилок є неточність визначення активного опору статора та його зміни в процесі роботи асинхронного двигуна. У системі DTC присутній недолік, пов'язаний з появою незначних пульсацій моменту та коливань швидкості ротора при малих навантаженнях.

Ключові слова: асинхронний двигун, перетворювач частоти, регулятор швидкості, регулятор моменту, пряме керування моментом, швидкодія

V. Stopkin, O. Rumiantsev, S. Kolesnyk, O. Netudykhatka. Model of asynchronous motor direct torque control system. The work considers the relevance, principle of operation and reasons for the emergence of Direct torque control (DTC) systems of an asynchronous motor. The author performed a study of the mathematical model of direct torque control of an asynchronous motor in MATLAB, the main shortcomings were identified. The main problem, the solution of which depends on the operation of the direct torque control system, is the identification of the stator flux coupling. This is solved by integration, which leads to an accumulation of errors. The source of errors is the inaccuracy of determining the active resistance of the stator and its changes during the operation of the asynchronous motor. The DTC system has a drawback associated with the appearance of slight torque ripples and rotor speed fluctuations at low loads.

Keywords: asynchronous motor, frequency converter, speed regulator, torque regulator, direct torque control, speed control

Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій. На теперішній час при розгляданні різних варіантів автоматизованих електроприводів одним з найбільш перспективних є частотно-регульований електропривод асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором. Новим напрямом в галузі розробки високоякісних систем керування асинхронними приводами є системи з прямим керуванням моментом (DTC – direct torque control). Такі системи в реалізації є простішими за класичні системи векторного керування, де необхідне пряме та зворотне перетворення координат електропривода, застосування регуляторів складових струму статора, формування при керуванні за напругою сигналів компенсації внутрішніх перехресних зворотних зв'язків об'єкта. Крім того що системи векторного керування асинхронними двигунами забезпечують гарні показники регулювання, їх функціонування у значній мірі залежить від параметрів двигуна та від точності визначення швидкості обертання ротора. Зміна параметрів двигуна викликає проблему переналадження (адаптації) системи керування.

Фірмою АВВ був запатентований метод прямого керування моментом (DTC). Промислова реалізація методу DTC стала можливою в середині 90-х із появою високоточної швидкодіючої мікропроцесорної техніки запропонованої фірмою АВВ (АВВ, 2003). Так у 1995 році фірма АВВ запропонувала перетворювачі частоти ACS600 з новою системою прямого керування моментом (DTC) [2].

Системи DTC є актуальними для електроприводів, де головним є формування моменту а не стабілізація швидкості. На теперішній час пряме керування моментом є сучасним способом керування частотно-регульованим асинхронним електроприводом з такими перевагами: відсутність необхідності у зворотному зв'язку за швидкістю та положенням двигуна; висока статична та динамічна точність швидкості; оптимальне перемикання транзисторів для кожного циклу керування та відповідність привода вимогам керованого навантаження [3-6]. Система DTC може розглядатися

як альтернатива скалярному або векторному керуванню. Важливим у системі DTC є ідентифікація параметрів асинхронного двигуна [7].

Постановка завдання дослідження. Метою розробки моделі системи DTC електропривода змінного струму є дослідження її динамічних властивостей як альтернативи скалярному або векторному керуванню.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- визначення типових блоків MATLAB для реалізації системи прямого керування моментом асинхронного двигуна;
- визначення розрахунковим шляхом параметрів контуру прямого керування моментом, контуру швидкості з регулятором, регулятора моменту та відповідних спостерігачів стану;
- проведення аналізу показників якості перехідних процесів та основних недоліків системи DTC, які обмежують сферу її застосування.

Викладення матеріалу з розробки математичної моделі. В роботі виконано моделювання системи прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) як альтернативного універсального керування у противагу скалярному або векторному.

Відомо, що векторне керування забезпечує точну підтримку електромагнітного моменту та стійку роботу електропривода на всьому діапазоні швидкостей. Існують два види систем з векторним керуванням – без датчика та з датчиком швидкості, причому відсутність датчика швидкості збільшує об'єми розрахунків у системі керування та призводить до її ускладнення.

До переваг скалярного керування відносять: постійність перевантажувальної здатності на усіх, крім низьких, частотах; відносна простота реалізації перетворювача з даним типом керування; невелика вартість; можливість використання для групового електропривода, при живленні від одного перетворювача декількох двигунів. До недоліків відносять: різке зниження перевантажувальної здатності на низьких частотах; неможливість регулювання моменту на валу двигуна.

Альтернативним варіантом може виступати система DTC. Математична модель системи прямого керування моментом асинхронного двигуна (DTC) виконана на типових блоках MATLAB. Асинхронний двигун має наступні параметри: номінальна потужність $S_n = 149,2$ кВА; номінальна напруга $U_n = 460$ В; номінальна частота $f_n = 60$ Гц; активний опір статора $R_1 = 14,85$ мОм; активний зведений опір ротора $R_2' = 9,295$ мОм; індуктивність статора $L_1 = 0,3027$ мГн; індуктивність ротора $L_2' = 0,3027$ мГн; момент інерції двигуна $J_{дв} = 3,1$ кг·м²; кількість пар полюсів $2p=2$.

Система DTC заснована на принципах векторного керування. Відмінністю від систем з орієнтацією поля є відсутність контурів регулювання проекцій струму статора, які визначають електромагнітний момент та потік. Контури регулювання потоку та моменту є внутрішніми. Ідея керування полягає у визначенні на кожному кроці розрахунку оптимального стану інвертора напруги, такого, яке викличе зміну моменту та потоку статора в необхідному напрямку з метою зведення до нуля помилки між заданим та дійсним значенням регульованої величини. Тут ланка широтно-імпульсного модулятора стає непотрібною. Стан ключів інвертора змінюється не на кожному кроці – відбувається гістерезисне керування з підтримкою регульованих величин у заданих межах. Зміна стану інвертора відбувається при перевищенні граничного значення модулю помилки за моментом або потоком. Чим більший цей допуск, тим менша частота комутації вентилів і тим гірша якість регулювання.

Принцип реалізації керування DTC розглядається на прикладі нерухомої системи координат. Відповідність секторів та векторів напруги нерухомої системи координат наведено на рис.1.

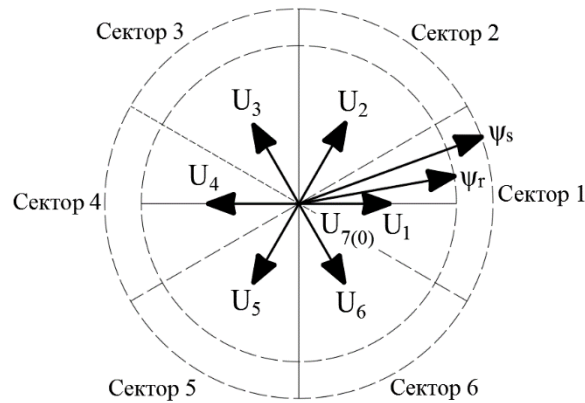


Рис.1. Відповідність секторів та векторів напруг у нерухомій системі координат

Електромагнітний момент асинхронного двигуна знаходиться через векторний добуток поточкозчеплень статора та ротора:

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{\Pi} \cdot L_m}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \cdot \psi_s \cdot \psi_r \cdot \sin \gamma, \quad (1)$$

де L_s – індуктивність статора; L_r – індуктивність ротора; γ – кут між векторами потоків статора та ротора.

Модуль потоку статора підтримується на постійному рівні. Модуль потоку ротора змінюється повільніше за модуль потоку статора за рахунок великої постійної часу ротора. Регулювання моменту здійснюється шляхом впливу на кут між цими двома векторами. Можливість такого регулювання витікає з формули:

$$\frac{d\psi_s}{dt} = U_s - I_s \cdot R_s \approx U_s, \quad (2)$$

де U_s – напруга статора; I_s – струм статора; R_s – активний опір статора.

Формула (2) спрощується при нехтуванні падінням напруги у статорній обмотці двигуна. Це є припустимим, так як розглядається тільки напрям зміни вектора ψ_s який має такий самий напрям як і вектор напруги статора U_s .

Вибір оптимального вектору здійснюється наступним чином. Площина розбивається на шість рівних секторів (рис.1). Розглядається один з них. Якщо вектор статора знаходиться у секторі 1 і необхідно збільшити момент, то слід застосовувати один із випереджуючих векторів U_2 або U_3 . Ці два вектори збільшать кут γ і, як слідство збільшиться момент. Перший вектор застосовується при збільшенні модулю потоку статора, а другий при його зменшенні. Для зменшення моменту застосовується один з нульових векторів U_0 або U_7 . Нульовий вектор напруги викликає зупинку вектора потоку статора. При цьому потік ротора продовжує обертатися, наздоганяючи потік статора, що призводить до зменшення моменту. При малих частотах обертання двигуна потік ротора рухається повільно, і в цьому випадку не вдається швидко зменшити момент за допомогою нульового вектора напруги. В таких випадках використовується відстаючий вектора напруги U_5 або U_6 .

В таблиці 1 наведений алгоритм вибору вектору напруги.

Загальна структура системи ДТС, яка реалізує розглянутий принцип керування наведена на рис.2. Силова частина електропривода складається з перетворювача частоти (некерований випрямляч – інвертор напруги на повністю керованих ключах) та асинхронного двигуна.

До складу системи входять контури регулювання моменту та потоку статора. До їх складу входять регулятори та блок вибору вектора напруги. Регулятори представлені як елементи з гістерезисною характеристикою. Регулятори порівнюють задане значення регульованих величин з дійсними та видають логічні сигнали на блок вибору вектора напруги. Крім логічних сигналів цей блок містить інформацію про номер сектора (таблиця 1). Номер сектора визначається за кутом

вектора потоку статора ψ_s . Обраний вектор напруги статора визначає поточний стан силових ключів.

Таблиця 1 – Алгоритм вибору вектора напруги

Номер сектору, в якому знаходиться вектор потоку статора		1	2	3	4	5	6
Збільшення потоку	Збільшення моменту	2	3	4	5	6	1
	Зменшення моменту	6	1	2	3	4	5
Зменшення потоку	Збільшення моменту	3	4	5	6	1	2
	Зменшення моменту	0(7)	0(7)	0(7)	0(7)	0(7)	0(7)
	Різде зменшення моменту	5	6	1	2	3	4

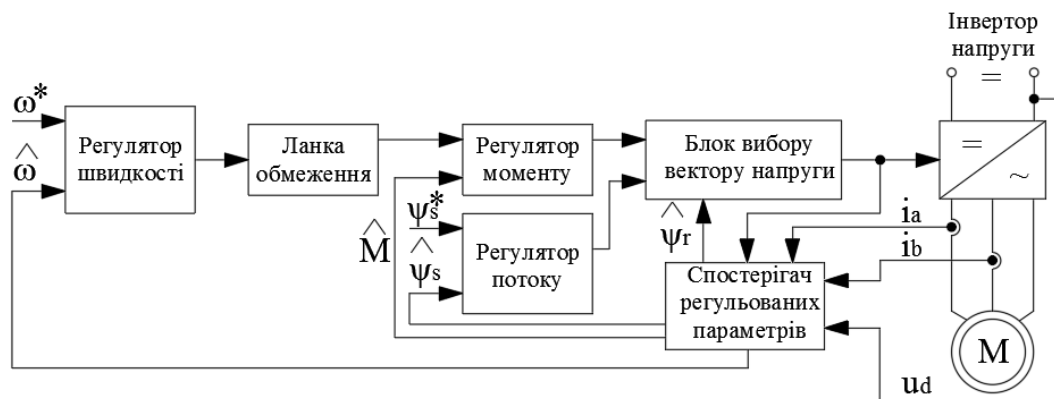


Рис.2. Загальна структура системи DTC

Завдання на момент формується зовнішнім контуром регулювання швидкості обертання. Ланка обмеження завдання на момент задає максимально можливий рівень електромагнітного моменту. Заданий потік статора підтримується постійним, але може регулюватися в спеціальних режимах роботи електропривода, таких як оптимізація енергоспоживання, або регулювання швидкості вище швидкості ідеального холостого ходу. Інформація про дійсні значення регульованих координат надходить зі спостерігача, який обчислює значення потоку, моменту та швидкості на базі вимірних значень миттєвих значень струмів двох фаз, а також інформації про рівень напруги ланки постійного струму та поточного стану інвертора напруги. Ефективність способу керування DTC в роботі продемонстрована на математичній моделі з використанням програми MATLAB.

Модель електропривода AC4-DTC Induction 200 HP Motor Drive наведена на рис.3.

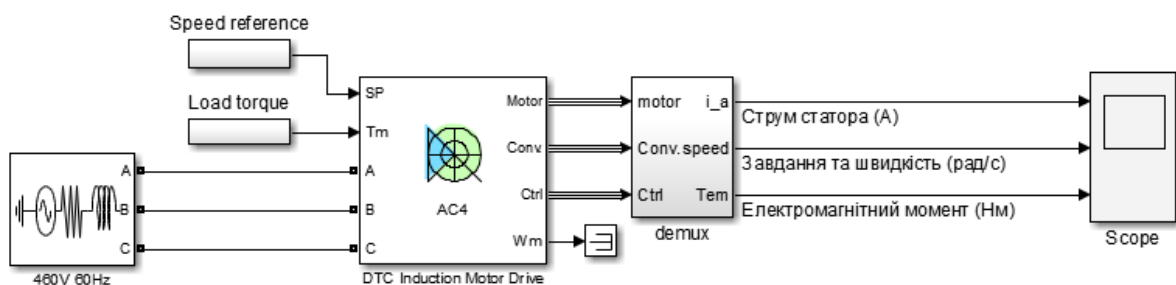


Рис.3. Модель електропривода AC4-DTC Induction 200 HP Motor Drive

Модель на рис.3 складається з таких модулів: джерело живлення з параметрами 460В, 60Гц; завдання швидкості Spread reference; завдання моменту Load torque; система керування DTC Induction Motor Drive; вилучення компонентів вхідного сигналу demux; осцилограф Scope.

Модель системи керування DTC Induction Motor Drive наведена на рис.4.

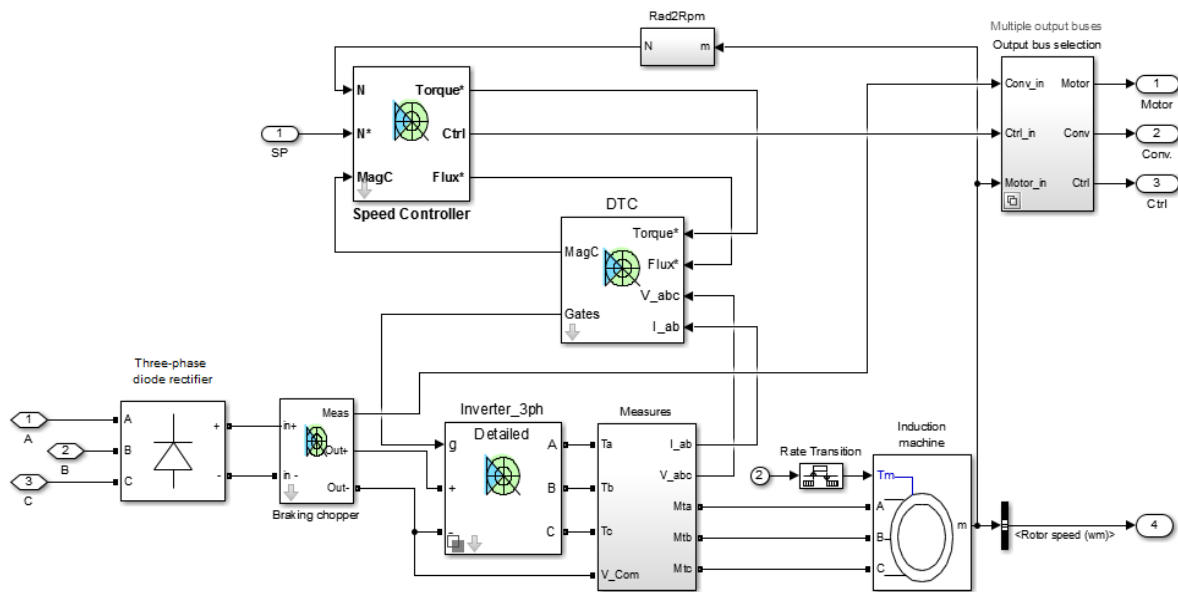


Рис.4. Модель системи керування DTC Induction Motor Drive

До складу моделі прямого керування моментом DTC входять такі модулі: трифазний діодний випрямляч Three-phase diode rectifier; гальмівний переривач Braking chopper; трифазний інвертор Inverter_3ph; вимірювальний блок Measures; асинхронний двигун Induction machine; контур прямого керування моментом DTC; контур швидкості з регулятором Speed Controller. Система DTC використовує трифазний інверторний міст до складу якого входять шість комутуючих пристроїв, здійснюючих 8 видів перемикачів стану із отриманням різниці у 600 між просторовими векторами і нульовими (два) векторами напруги.

До складу підсистеми DTC (див. рис.4) входять наступні розрахункові блоки: спостерігача моменту та магнітного потоку (Torque&Flux calculator); спостерігача моменту та потоку з врахуванням гістерезису (Flux&Torque hysteresis); пошукача сектору потоку (Flux sector seeker); таблиці комутації (Switching table); керування комутацією (Switching control).

Ідентифікація потокозчеплення статора та ротора здійснюється спостерігачем, в якому використовується інформація про поточні значення струмів та напруг статора.

Аналоговий та дискретний потоки статора розраховуються наступним чином:

$$\psi_1^{(\alpha,\beta)} = \int (u_1^{(\alpha,\beta)} - i_1^{(\alpha,\beta)} \cdot r_1) \cdot dt, \quad (3)$$

$$\psi_1^{(\alpha,\beta)} = (u_1^{(\alpha,\beta)} - i_1^{(\alpha,\beta)} \cdot r_1) \cdot \frac{K \cdot T_s \cdot (z+1)}{2 \cdot (z+1)}, \quad (4)$$

де $u_1^{(\alpha,\beta)}$, $i_1^{(\alpha,\beta)}$ – напруга та струм статора в двофазній системі координат α, β ;

K – інтегральний коефіцієнт;

T_s – час відбору.

Електромагнітний момент розраховується за формулою:

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\psi_{1\alpha} \cdot i_{1\beta} - \psi_{1\beta} \cdot i_{1\alpha}). \quad (5)$$

Графіки перехідних процесів за струмом, швидкістю та моментом при завданні за швидкістю 500 рад/с та моменту 792 Нм наведені на рис.5.

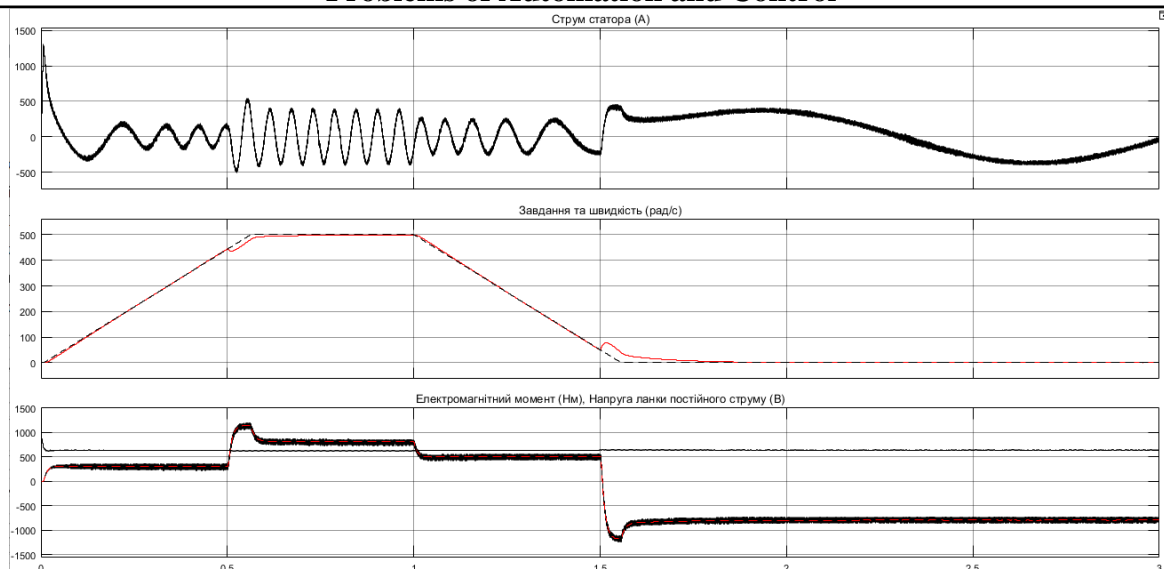


Рис.5. Графіки перехідних процесів за струмом, швидкістю та моментом при завданні за швидкістю 500 рад/с та моменту 792 Нм

На графіках перехідних процесів присутні коливання моменту в наслідок чого може знижуватися точність регулювання моменту. Відпрацювання за швидкістю здійснюється із незначним перерегулюванням практично без статичної помилки. Помилка за регулюванням моменту в такій системі буде присутньою та є пропорційною до інтервалу дискретності системи.

Висновки. Досліджена модель систем прямого керування моментом (DTC) асинхронного двигуна на прикладі математичної моделі у MATLAB. Основною перевагою є простота реалізації та універсальність для усіх типів асинхронних двигунів. Основним недоліком є коливальність моменту, що знижує точність його регулювання. Усунути недолік можна шляхом розробки алгоритмів вибору стану ключів інвертора. Система DTC може виступати альтернативою векторному або скалярному керуванню для електроприводів де головним є формування моменту а не стабілізація швидкості. Проведені дослідження представляють собою практичну цінність при застосуванні як у навчальному процесі так і при налагодженні комплектних електроприводів змінного струму виробництва ABB з системою керування прямим моментом DTC.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Модель прямого керування моментом асинхронного двигуна у MATLAB / В. В.Стьопкін, О. В. Юдін, М. В. Котляр, О. О. Паламарчук. // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2020. – №103. – С. 26–31.
2. ABB. DTC: A motor control technique for all seasons [Електронний ресурс] / ABB. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/drives/dtc>.
3. Rupert Gouws. Efficiency analysis of an induction motor with direct torque and flux control at a hot rolling mill / Rupert Gouws. // Paper presented at the Industrial & Commercial Use of Energy Conference (ICUE) 2014. – 2014. – №3. – P. 111–115.
4. Azhan Ab Rahman. Simulation on Simulink AC4 Model (200hp DTC Induction Motor Drive) using Fuzzy Logic Controller / Azhan Ab Rahman. // International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE 2010). – 2010. – P. 553–557.
5. MathWorks. Help Center. AC4 - DTC Induction 200 HP Motor Drive [Електронний ресурс] / MathWorks. Help Center – Режим доступу до ресурсу: <https://la.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/ac4-dtc-induction-200-hp-motor-drive.html>.
6. H.F. Abdul Wahab. Simulink Model of Direct Torque Control of Induction Machine / H.F. Abdul Wahab, H. Sanusi. // American Journal of Applied Sciences. – 2008. – №5. – P. 1083–1090.
7. Півняк Г.Г., Волков О.В. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. – 470с.

УДК 377

В.С. Чумак

Технічний фаховий коледж ЛНТУ

E-mail: vkachumak@gmail.com

ВАЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-ПЕДАГОГІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СПЕЦІАЛІСТІВ У СФЕРІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В даній роботі розглянуто проблематику використання програмно-педагогічних засобів у процесі підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій. Проаналізовано ряд авторитетних досліджень та публікацій схожої тематики та виділено головні тенденції. Наведено ряд аргументів та переваг такого підходу до освітнього процесу. Детально описано дидактичні функції, які можуть бути реалізовані за допомогою програмно-педагогічних засобів. Окреслено можливості інтенсифікації навчального процесу за рахунок використання програмного засобу. Підкреслено та доведено важливість комп'ютеризації навчального процесу майбутніх спеціалістів ІТ-галузі.

Ключові слова: програмно-педагогічний засіб, інформаційні технології, освітній процес, комп'ютеризація навчання, ІТ-спеціаліст, мультимедійні навчальні матеріали.

V. Chumak. The importance of using software and teaching tools in the education of information technology specialists. This work examines the problems of using software and teaching tools in the process of training specialists in the field of information technologies. A number of authoritative studies and publications on similar topics were analyzed and the main trends were highlighted. A number of arguments and advantages of this approach to the educational process are given. Didactic functions that can be implemented with the help of software and pedagogical tools are described in detail. The possibilities of intensification of the educational process due to the use of software are outlined. The importance of computerization of the educational process of future specialists in the IT-industry is emphasized and proven.

Keywords: software and teaching tool, information technologies, educational process, computerization of education, IT specialist, multimedia educational materials.

Постановка проблеми. Сьогодні в умовах глобальної комп'ютеризації усіх сфер людської діяльності важливим каталізатором ефективності та успішності освітнього процесу є ступінь використання новітніх технологій. Освіта як рушійна сила прогресу країни просто не може собі дозволити ігнорувати загальні тенденції, а отже впровадження комп'ютерної техніки у процес навчання є не примхою, а цілком обґрунтованою потребою. При чому мова йде не лише про розширення спектру вивчення комп'ютерних дисциплін, а й про інтеграцію новітніх засобів навчання у вивчення предметів як загальноосвітнього циклу, так і вузької спеціалізації. Одним з найбільш перспективних дидактичних напрямів, який здатен оптимізувати та раціоналізувати навчально-виховний процес є розробка педагогічно-програмних засобів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Головною передумовою успішного розвитку процесів інформатизації суспільства є інформатизація освіти. Тому одним із пріоритетних напрямків психолого-педагогічних та методичних досліджень є впровадження комп'ютерних технологій в процес викладання навчальних дисциплін у навчальних закладах. Розробка і впровадження комп'ютерних технологій в освітній процес в Україні пов'язані з певними складностями, що обумовлені не лише обмеженістю фінансових можливостей, але й недостатністю методичного забезпечення комп'ютерних технологій навчання [3].

Проте за вимогами Болонського процесу входження України до Європейського освітнього простору неможливе без широкого впровадження інформаційних засобів у навчальний процес. З використанням комп'ютерної техніки та відповідного методичного забезпечення підвищується ефективність навчального процесу за рахунок його інтенсифікації та активізації навчально-пізнавальної діяльності, надання їй творчого дослідницького спрямування [2].

Осадчий В.В. стверджує, що застосування комп'ютерів на заняттях значно підвищує інтенсивність навчального процесу. При комп'ютерному навчанні засвоюється набагато більша кількість матеріалу, чим це робилося за той самий час в умовах традиційного навчання. Крім того, матеріал при використанні комп'ютера краще засвоюється. Комп'ютер забезпечує і всебічний (поточний, рубіжний, підсумковий) контроль навчального процесу. Контроль, як відомо, є

невід'ємною частиною навчального процесу і виконує функцію зворотного зв'язку між студентом і викладачем. При використанні комп'ютера для контролю якості знань студентів досягається і велика об'єктивність оцінки. Крім того, комп'ютерний контроль дозволяє значно заощадити навчальний час, тому що здійснюється одночасна перевірка знань всіх студентів. Це дає можливість викладачу приділити більше уваги творчим аспектам роботи із студентами. Ще одна перевага комп'ютера – це здатність накопичувати статистичну інформацію в ході навчального процесу. Аналізуючи статистичні дані (кількість помилок, правильних/неправильних відповідей, звертань за допомогою часу, витраченого на виконання окремих завдань і т.п.), викладач судить про ступінь і якість сформованості знань у студентів [4].

Поява інноваційних інформаційних технологій в педагогіці не є випадковістю. У деякого є заперечення філософського або практичного характеру. Однак усі згодні з тим, що необхідна повна адаптація галузі освіти до комп'ютерного століття. Єдиної ж думки про те, якою вона повинна бути, на сьогоднішній день не існує. Новітні мультимедійні засоби навчання відкривають учням чи студентам доступ до нетрадиційних джерел інформації, підвищують ефективність самостійної роботи, дають цілком нові можливості для творчості, знаходження і закріплення усіляких професійних навичок, дозволяють реалізувати принципово нові форми й методи навчання [1].

На думку Сидоренко О. І. сприятливі можливості створюють комп'ютери і для організації самостійної роботи студентів на заняттях. Студенти можуть використовувати комп'ютер як для вивчення окремих тем, так і для самоконтролю отриманих знань. Причому комп'ютер є одним із педагогів, здатним скільки завгодно повторювати будь-які завдання, домагаючись правильної відповіді і, у кінцевому рахунку, автоматизації навички, що відпрацьовується.

Проблеми пошуку ефективних шляхів комп'ютеризації освіти сьогодні актуальні не тільки в нашій країні, але і в усьому світі і, безсумнівно, що послідовна реалізація комплексу заходів, спрямованих на їхнє рішення, буде сприяти тому, що комп'ютерні технології дійсно стануть масовим засобом вивчення іноземної мови і невід'ємною частиною навчального процесу [5].

Яцюк В.П. у своїй праці відзначає, що застосування на заняттях комп'ютерних навчальних програм – це досить ефективний та доцільний засіб у навчанні студентів, спрямований на розвиток комунікативних здібностей. Крім цього використання комп'ютерних технологій в викладанні дозволяє відійти від традиційних форм навчання й підвищити індивідуалізацію навчальної діяльності [8].

Тужель О.М. стверджує, що використання комп'ютерних програм у навчальному процесі дає змогу найбільш повно реалізувати принцип особистісно-орієнтованого навчання. Індивідуалізація процесу навчання здійснюється завдяки великому потенціалу комп'ютерних засобів щодо адаптації до потреб кожного студента. [6]

Стає можливо враховувати не лише вікові особливості та рівень підготовленості студентів, але й індивідуальні психологічні характеристики кожного студента. Принцип індивідуалізації у комп'ютеризованому навчальному процесі забезпечується наступними чинниками: можливість вибору індивідуального темпу роботи; індивідуальний спосіб керування навчальною діяльністю, застосування різних за ступенем складності завдань з можливістю переходу до більш складних чи навпаки більш простих варіантів роботи з програмою залежно від успішності результатів; надання індивідуального набору засобів підтримки навчання (довідники, підказки, ключі); адаптація форми навчального матеріалу до індивідуальних особливостей сприйняття інформації конкретним студентом [7].

Формулювання цілей статті. Довести, що застосування мультимедійних засобів на заняттях дозволяє підвищити не тільки інтерес до майбутньої спеціальності, але і успішність по даній дисципліні. Продемонструвати, що навчальні комп'ютерні програми і педагогічні програмні засоби дають можливість кожному студенту чи учню незалежно від рівня його підготовки брати активну участь у навчальному процесі, індивідуалізувати свій процес навчання, здійснювати самоконтроль. Бути не пасивним спостерігачем, а активно одержувати знання і оцінювати свої можливості.

Виклад матеріалу. В умовах сучасного динамічного розвитку суспільства та ускладнення його технічної та соціальної інфраструктури найважливішим стратегічним ресурсом стає інформація. Інформаційні технології дозволяють створювати, зберігати та забезпечувати ефективні способи зображення інформації, і стають не тільки важливим фактором життя суспільства, але і засобом підвищення ефективності управління усіма сферами суспільної діяльності.

У свою чергу інформаційні технології перебувають на етапі регулярного та неперервного розвитку й потребують великої кількості кваліфікованих кадрів для продуктивного функціонування. Підготовка таких кадрів має бути пріоритетним завданням навчальних закладів.

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

Вона не можливе без всебічного застосування комп'ютерних технологій, зокрема і програмно-педагогічних засобів.

Перевага роботи з комп'ютером полягає в тому, що вона значно розширює можливості й самих викладачів, сприяє індивідуалізації навчання, активізації пізнавальної діяльності студентів, а також дозволяє максимально адаптувати процес навчання до індивідуальних особливостей тих, хто навчається. Тобто кожен отримує можливість працювати у своєму режимі, вибрати такий темп, при якому пройдений матеріал оптимально засвоюється саме ним.

Досвід організації навчально-виховного процесу свідчить, що чим ширше застосовуються комп'ютери у процесі вивчення різних предметів та чим раніше студенти починають працювати з комп'ютером, тим ефективніші результати навчання. А також вищий ступінь зацікавлення у ІТ-сфері, що пізніше відіграє величезну роль у професійній самоосвіті. Мотивований спеціаліст, який прагне до саморозвитку – основна ціль усього навчального процесу. Мультимедійні та програмні навчальні засоби позитивно впливають на його формування.

Комп'ютер сприяє не тільки розвитку самостійності, творчих здібностей учнів чи студентів, а й дозволяє змінити саму технологію надання освітніх послуг, зробити заняття більш наочним і цікавим. Комп'ютер забезпечує інтенсифікацію діяльності викладача та студентів на занятті, сприяє здійсненню диференціації та індивідуалізації навчання, розвитку спеціальної або загальної обдарованості, формуванню політехнічних знань, посилює міжпредметні зв'язки. Все це дає можливість покращити якість навчання.

На сьогоднішній день комп'ютерні технології у підготовці ІТ-спеціалістів дозволяють:

- 1) забезпечити високу наочність навчального матеріалу;
- 2) впроваджувати як колективну, так і індивідуальну роботу;
- 3) накопичувати методичні матеріали;
- 4) підвищувати рівень інформаційної культури й освіти людини інформаційного суспільства;
- 5) охоплювати більший за обсягом матеріал, оцінювати й аналізувати його завдяки Інтернету;
- 6) використовувати унікальні джерела інформації, що надає можливість легко входити в інформаційно-освітній простір, «розсуваючи стіни аудиторії»;
- 7) зберегти диференціальний підхід як в освоєнні матеріалу, так і в проблемних завданнях для рішення;
- 8) залучати навички самоосвіти, перетворюючи навчання на «радість відкриття»;
- 9) сприяти самоорганізації, саморозвитку, самоперевірці, творчості тих, хто навчається.

Серед головних дидактичних функцій, що можуть бути реалізовані за допомогою комп'ютерних технологій треба зазначити такі:

Пізнавальна – використовуючи комп'ютерні технології та Інтернет, можна отримати будь-яку необхідну інформацію, що сприяє пізнавальній активності студентів;

Розвиваюча – робота студентів з навчальною програмою крім активації лексики сприяє розвитку таких необхідних пізнавальних процесів, як сприйняття, логічне мислення, пам'ять, уява.

Тренувальна – за допомогою комп'ютерних програм учні мають можливість самостійно у нетрадиційній формі тренуватись та перевірити свій рівень знань та умінь з певної теми, визначити конкретні прогалини, доопрацювати їх та виконати запропоновані завдання ще кілька разів з метою покращання своїх результатів.

Діагностична – використовуючи комп'ютерні технології, викладач має змогу швидко здійснити контроль та з'ясувати рівень засвоєння навчальної теми студентами.

Комунікативна – під час роботи студентів з навчальними програмами, ведучи діалог з комп'ютером студенти долають бар'єр боязливості.

В єдиному комплексі усі перелічені можливості та функції сприяють інтенсифікації та покращенню освітнього процесу. Досягається це, в першу чергу, за рахунок прагнення самого студента та підвищення рівня його зацікавленості і мотивації. Не варто ігнорувати і той факт, що при роботі з комп'ютером студент набуває величезної кількості супутніх знань, які в майбутньому перетворять його на широко профільного спеціаліста, здатного адаптуватись до всіляких труднощів.

Висновки. Отже, комп'ютеризація навчання відкриває нові шляхи для інтелектуального розвитку. Застосування комп'ютера – це вже не крок вперед, а стрибок в історії розвитку освіти.

З кожним роком суспільство та сучасне життя все більше комп'ютеризується та потребує все більшої кількості спеціалістів у цій галузі. Цілком логічно, що і підхід до їх підготовки повинен бути змінений, з нахилом у бік комп'ютерного та технологічного навчання. Важливо не лише

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

забезпечити належну кількість спеціалістів потрібним об'ємом знань, а й сформувати у них бажання до саморозвитку та постійного вдосконалення і прогресу.

Інформаційні технології ніколи не стояли та не стоятимуть на місці, отже разом з ними повинні постійно прогресувати і спеціалісти. Використання програмно-педагогічних засобів у процесі їх навчання та підготовки спонукає до стабільного розвитку.

Мова повинна йти не лише про банальні речі, як вивчення програмування у середовищі програмування чи підготовку графічних дизайнерів у відповідних редакторах, а й про більш повну комп'ютеризації освіти. На сьогодні щоб отримати кваліфікованого спеціаліста на виході комп'ютерні технології повинні використовуватись на кожному з етапів його навчання та підготовки. Це стосується як спеціалізованих предметів чи дисциплін, так і всього загальноосвітнього циклу.

Комп'ютерні технології давно і щільно укорінилися у повсякденне життя, відповідно, й освітня сфера просто не має права їх ігнорувати. Тільки так вона може залишатись актуальною, прогресивною та продуктивною.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Беспалько В.П. Освіта та навчання за участю комп'ютерів (педагогіка третього тисячоліття) / В. П. Беспалько. – М.: Видавництво психолого-соціального інституту, 2012 – 371с.
2. Карючков Г.К. Болонський процес як гармонізація Європейської системи вищої освіти. / Г.К. Карючков // Іноземні мови в навчальних закладах. – 2012. – №1. – С.94.
3. Кісіль М.В. Вимоги до якості вищої освіти в інформаційному суспільстві // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія № 7. Релігієзнавство. Культурологія. Філософія: Зб. наукових праць. – Випуск 11(24) – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2007 – С.109 – 112.
4. 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.
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. Мазаракі. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. – 259с.
6. Тужель О.М. Використання персонального комп'ютера у вивченні іноземних мов // Нові інформаційні технології навчання в навчальних закладах України: Науково-методичний збірник: – Вип.8: Педагогіка / Редкол.: І.І.Мархель (гол. ред.) та ін. – Одеса: Друк, 2012.
7. Яскалова, Г.Ф. Моніторинг документального потоку для інформаційної діагностики прогнозованих об'єктів: навчальний посібник / Г.Ф. Яскалова – М.: ПКІР, 2011. – 110 с.
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 536.532

С.П. Яцишин¹, О.В. Лиса², А.-В.В. Мідик²

¹Національний університет «Львівська політехніка», ²Львівський національний університет природокористування

E-mail: ovl2407@ukr.net

СМАРТ-МЕТОДИ ТА СМАРТ-ЗАСОБИ У НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ

В даній роботі розглянуто кіберфізичні системи, як основні структурні складові сучасних технологій в епоху Промислової революції 4.0. Для цього з прицілом на метрологічне забезпечення конкретних процесів розглядаються, передусім, метрологічне обладнання, основне та проміжне програмне забезпечення, тощо. Програмне забезпечення зазвичай встановлюється в обладнання при його випуску виробником. Проміжне програмне забезпечення передається через Інтернет, встановлюється автоматично та забезпечує самостійно виконуваний набір дій калібрування, вимірювання, обчислення, внесення поправок у отримані результати моніторингу складних

характеристик, тощо. Калібрування може бути виконано дистанційно за умови доступу коду до КФС із впровадженням відповідного основного та проміжного програмного забезпечення.

Ключові слова: кіберфізичні системи, смарт-засоби, метрологічне обладнання, основне та проміжне програмне забезпечення.

S. Yatsyshyn, O. Lysa, A.-V. Midyk. Smart methods and smart tools in the latest technologies.

This work examines cyber-physical systems as the main structural components of modern technologies in the era of Industrial Revolution 4.0. For this, metrological equipment, main and intermediate software, etc. are considered, primarily, with an eye on metrological support of specific processes. The software is usually installed on the equipment when it is released by the manufacturer. The middleware is delivered over the Internet, installed automatically, and provides a self-executing set of actions for calibrating, measuring, calculating, correcting complex performance monitoring results, etc. Calibration can be performed remotely, provided the code accesses the CFS with the implementation of the appropriate main and middleware.

Keywords: cyber-physical systems, smart tools, metrological equipment, main and intermediate software.

Постановка проблеми. Кібер-фізична система — це комп'ютеризована система, що керується або контролюється за допомогою автоматизованих алгоритмів. У кібер-фізичних системах фізичні та програмні компоненти глибоко переплетені між собою, здатні працювати в різних просторових і часових масштабах, демонструють численні та відмінні поведінкові модальності та взаємодіють один з одним у спосіб, що змінюється залежно від контексту. КФС включає трансдисциплінарні підходи, передбачає злиття кібернетики, мехатроніки, проектування, наук про процеси та їх вимірювання. Керування технологічним процесом переважно реалізується з допомогою так-званих вбудованих підсистем, кожна з яких контролює певну, визначену для неї попередньо характеристику [1].

Нині сфера КФС розширюється від академічних досліджень і розробок лабораторій до реальних проєктів. Швидке сприйняття та просування КФС у розвинених країнах, де вони отримали державну підтримку, досить прості; КФС мають вирішальне значення для забезпечення національної безпеки та є важливою частиною сучасної технологічної революції. Розвиток інформаційної індустрії не зменшив виробництво, а лише перемістив його в треті країни. В результаті населення США та ЄС стало залежним від цих країн. Щоб відновити незалежність виробництва, особливо в постковідний період, звернулися до аутсорсингу, при якому КФС можуть вирішити проблему. Хоча, звісно, сфера застосування КФС набагато ширша, оскільки ці системи допомагають створювати якісно нові медичне обслуговування, транспорт, енергетику, тощо.

Істотною особливістю КФС є поєднання інформаційних та операційних технологій разом із часовими обмеженнями. Для реалізації розумних програм необхідно створити прикладну модель системи, мати відповідні метрологічне та програмне забезпечення, наприклад, на основі одноплатних мікроконтролерів та мікроконтролерних комплектів. Крім того, необхідна сумісність між гетерогенними компонентами та підсистемами, в тому числі, насамперед, узгодження їх таймінгу та алгоритмів їх сертифікації. У зв'язку з цим необхідні розробки в галузі метрології (калібрування, комплексна оцінка якості продукції, діагностика на основі моделі), а також у сфері основного та проміжного програмних забезпечень [7-8], а також у сфері їх метрологічної верифікації метрологічних засобів та інструментів у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Декілька передумов зумовили появу та швидкий розвиток КФС [2]. Перша – збільшення кількості пристроїв із вбудованими мікропроцесорами та носіями інформації: сенсорні мережі, що працюють у технічних інфраструктурах; медичне обладнання; розумні будинки [3] та багато іншого. Друга – це інтеграція, яка максимізує вплив шляхом об'єднання окремих компонентів у великі системи: Інтернет речей, World Wide Sensor Net, розумне середовище проживання та оборонні системи майбутнього [4]. Третя — обмеження когнітивних здатностей людей, які розвиваються повільніше, ніж машини. Настає момент, коли люди стануть не в змозі справлятися з кількістю інформації, необхідної для прийняття рішень; тому деякі частини виконавчих дій повинні бути перенесені в КФС, вилучивши людину з контуру керування. Тут можна розглядати змагання спеціальних шахових програм і систем штучного інтелекту, в яких останні перемагають. У той же час у деяких випадках КФС можуть розширити аналітичні здатності людини, тому існує потреба у створенні нових інтерактивних систем високого рівня, які залишають людей у циклі керування. Ключовим фактором у роботі КФС є модель, яка

використовується в системі управління: її ефективність залежить від того, наскільки вона збігається з реальністю. Розглядаючи в цьому контексті класичні вбудовані системи, слід визнати, що вони є продуктами техніки ХХ століття, заснованої на спрощеній концепції і, відповідно, на спрощених моделях природи та навколишнього середовища.

Сьогодні спрощені моделі призводять до техногенних катастроф, коли виникають умови, не передбачені моделлю. Однією з головних причин такого стану є недостатнє оснащення виробничих ланцюгів сенсорами внаслідок недостатньої обчислювальної потужності підсистем управління. Тоді смарт-сенсори та смарт-актуатори, як обов'язкові компоненти КФС з їх значною обчислювальною потужністю, є важливими. Вищезгаданий підхід є аналогом платформи Industry 4.0 [5]. Остання приділяє увагу підвищенню якості за рахунок прискорення виробничих процесів і підвищення їх точності та прецизійності. Однак, і мультисенсорні технології стають недостатніми для забезпечення ефективного виробництва. Стають необхідними нові технології на основі сучасних наукових досліджень та практик. Одним з яскравих прикладів видається є технологія замкнутого циклу; вона є процесом в рамках операційного циклу, який об'єднує виробничі та вимірювальні операції після калібрування. Це підіймає рівень точності обробки на абсолютно новий рівень, забезпечуючи найвищий можливий стандарт для конкретної виробничої лінії. Іншим прикладом постійного розвитку в цій галузі є впровадження нової техніки калібрування, використання Інтернету чи подібної мережі для забезпечення ефективного обслуговування та постійного зв'язку з клієнтом. Тут результати калібрування надсилаються безпосередньо в базу даних клієнта, застосовуючи Metrology 4.0 [1, 6].

Постановка завдання. Виявити метрологічні проблеми сучасних КФС та вказати шляхи їх вирішення.

Виклад основного матеріалу. КФС постійно ускладнюються порівняно з традиційними об'єктами, зі змінюваною в часі їх структурою і складом, а компоненти і зв'язки між ними не є на 100% надійними. Існують певні проблеми у конструюванні КФС: наприклад, такі поняття, як надійність, включаючи метрологічну надійність, період відмов тощо [1]. Стає все більш важливим доступ до метрологічних ризиків їх компонентів, уникаючи перерв або зупинок виробничого циклу. Фактор часу, який відсутній у традиційному програмуванні, безумовно притаманний роботі КФС тут набирає ваги. Як правило, КФС відстежує отримані дані вимірювань, їх обчислення та нормування до необхідних значень, до прикладу, за амплітудою. Вони поєднують традиційні інформаційні технології від передачі даних сенсорів до опрацювання їх завдяки обчисленням, а також технології контролю та управління.

Вже сьогодні ми можемо констатувати існування чималої кількості суто метрологічних проблем КФС. Серед них:

1. Існуючий набір еталонів у різних країнах можна вважати недостатнім для успішного опису засобів та інструментів сучасної наукової техніки [9].
- 2., Сучасне виробниче обладнання провідних науково-дослідних центрів не може бути перевірене в сертифікованих лабораторіях внаслідок його складності та проблеми з доставкою. Існуючі стандарти втрачають декілька порядків значень метрологічних характеристик саме при передачі їх кінцевому користувачеві й це вважається буденною метрологічною практикою, яку не можна вважати достатньою для метрологічної підтримки КФС.
3. Унікальна технологія часто вимагає самокалібрування та досконалого метрологічного обладнання для забезпечення якості [1, 10].
4. При використанні аналогових сенсорів і переході до цифрового опрацювання отриманої інформації можуть виникати проблеми з метрологічною сертифікацією ПЗ [11], що у певних випадках зумовлюють виникнення додаткових похибок вимірювання.

Їх вирішення може бути досягнуто шляхом розуміння і врахування основних тенденцій розвитку метрології на сучасному етапі. До них належать:

- перехід на смарт-сенсори, пристрої та системи;
- заміна традиційних мір мірами, що базуються на фундаментальних фізичних сталих, тобто перехід до так-званих «внутрішніх» мір (intrinsic standards);
- розроблення систем самоперевірки, самоверифікації, самокалібрування, самостійного введення поправок у метрологічні характеристики тощо;
- заміна МІ на подібні, що проте базуються на частотно-залежних залежностях.

Смарт МІ становлять передумову проектування КФС, оскільки вони є основними компонентами її інформаційно-вимірювальної підсистеми. Існує низка таких МІ, що підрозділяється на наступні

підмножини: смарт- сенсори та перетворювачі, а також їхні мережі, котрі часто формують сучасні бездротові сенсорні мережі (БСМ, англ. WSN). Нова сфера дешевих і легко розгорнутих сенсорів пропонує безпрецедентні можливості для широкого спектру різноманітних застосувань. У поєднанні вони надають істотні переваги порівняно із традиційними мережами. Їх формують з використанням масштабованої гнучкої архітектури та механізмів, адаптованих до застосування, з високою роздільною здатністю, а також низкою метрологічно специфічних функцій (самоперевірка, самовалідація, самоверифікація, самокалібрування та самостійне коригування градуовальної характеристики).

Наприклад, особливу увагу слід приділяти перевірці БСМ. Звірювання часових характеристик повинно бути направлено на забезпечення виконання призначених завдань з боку БСМ у режимі реального часу протягом запланованого періоду діяльності. У цій сфері зусилля розробників спрямовані на методи встановлення збіжності у часі роботи багатоядерних платформ, зокрема при розгляді проблематики спільних ресурсів, таких як пам'ять, різні та змінювані алгоритми опрацювання і зберігання сигналів, їх передачі та нагромадження при зберіганні. Викладене – життєво необхідне для прийняття обґрунтованих рішень в режимі реального часу, особливо в галузях охорони здоров'я та безпеки життєдіяльності, Інтернету речей [13], тощо.

Іншим способом підвищення якості продукції, виготовленої з допомогою КФС, вважається вбудовування високоточних «внутрішніх» еталонів, що базуються на фундаментальних властивостях речовини. До прикладу, у [6] розглянуто впровадження особливості впровадження державного еталону електричного опору. Останній пропонується розвивати шляхом імплементації досягнень нанотехнологій в галузі досліджень електропровідності вуглецевих нанотрубок. При перебуваючи їх у надпровідному стані, нанотрубкам притаманне значення опору, що відповідає оберненому кванту провідності, рівне $(12906,4037 \pm 0,0020)$ Ом, за рахунок перехідного опору контактів. Для вимірювання цього опору достатньо чотирипровідної схеми. Так, моста постійного струму та мережі Гамона достатньо, щоб перенести це значення на значення державних еталонів (1,0; 100,0 Ом), а потім з високою точністю відрегулювати значення робочих резисторів до зазначених номіналів.

Формування метрологічних смарт-засобів стає передумовою розвитку кібер-фізичних систем, оскільки вони вважаються невід'ємними складовими одиницями інформаційно-вимірювальних підсистем КФС. Існує множина метрологічних смарт-засобів, які підрозділяються на наступні підмножини: смарт-сенсорів, вимірювальних смарт-перетворювачів [14], їхніх мереж [15-16] і т.д., які можуть бути об'єднані в межах однієї сучасної бездротової мережі.

Пропонується безпрецедентна можливість реалізації широкого спектру різних прикладних застосувань з допомогою сучасної номенклатури мережевих сенсорів. Ці сенсори характеризуються низькими вартістю і споживаною потужністю, легко встановлюються та підключаються. Коли вони комбінуються в мережі, то дають змогу отримати низку переваг порівняно з традиційними мережами; ці переваги стосуються гнучкої архітектури при масштабуванні (значному збільшенні кількості сенсорів у мережі), отримання даних з високою роздільною здатністю, і наявністю адаптивних механізмів застосування.

Тим не менш, через їх тісну інтеграцію з фізичним світом і унікальні характеристики, впровадження сенсорних мереж представляє істотні проблеми, а розвиток практики застосувань стає нетривіальним. Тому розглянемо нижче можливості гнучких сенсорних мереж (у їх бездротовому виконанні) [17], як визначальних структурних елементів КФС, направлені на удосконалення останніх за рахунок оптимізації характеристик.

Смарт-сенсор, відповідно до прийнятого визначення, поєднує в одному корпусі в собі чутливий елемент, інтерфейсну аналогову мікросхему, АЦП і шину інтерфейсу. Створювана класифікація новітнього покоління смарт-сенсорів схильна включити опцію додаткових функціональних можливостей, таких як самотестування, самоідентифікація, самовалідація (згідно визначення фірми Майкрософт остання дає змогу засобу вимірювання самому віднести той чи інший засіб до певного наперед заданого класу ЗВ з усіма наслідками, до прикладу якщо віднесли прилад до класу генеруючих, створених на основі термопар, то цей прилад є валідизованим – генеруючого класу, і всі наступні метрологічні операції з ним здійснюються належним чином), або самоадаптації (самоприспособування ЗВ до змінних умов застосування або оточуючого середовища). Особливий інтерес і важливість для проектувальників становлять такі можливості смарт-сенсора, як самокалібрування і самодіагностика, можливість здійснювати опрацювання сигналу, а також можливості комбінованого вимірювання шляхом використання багатьох чутливих елементів [18].

Мікропроцесор смарт-сенсора оптимізує сигнали перед передаванням до мережі управління. Він відфільтровує небажані шуми і компенсує похибки перед відправленням даних. Деякі сенсори можуть бути спеціально запрограмовані для того, щоб виробляти повідомлення «Тривога» самостійно, коли досягаються попередньо критично встановлені межі зміни вимірюваних сигналів. Інакше, вони виступають в ролі сигналізаторів: до прикладу такими є пожежні сповіщувачі [19].

Проектувальники можуть розглядати смарт-сенсор, як мікросенсор, інтегрований в межах одного кристалу кремнію із мікроелектронними засобами обробки сигналів, такими як АЦП, з метою формування інтегрованої мікроелектромеханічної одиниці, спроможної опрацювати інформацію самостійно або взаємодіючи з вбудованим мікропроцесором.

Температурний смарт-сенсор – це аналоговий або цифровий первинний термочутливий перетворювач, поєднаний з блоком опрацювання та комунікаційним інтерфейсом і спроможний виконувати низку метрологічних смарт-функцій за рахунок встановленого метрологічного програмного забезпечення. Це – інтелектуальний сенсор температури з низкою спеціалізованих алгоритмів, передбачених на проектній чи інсталяційній стадії, тобто сенсор з такими вбудованими алгоритмами, які необхідні для забезпечення здійснення наступних спеціалізованих метрологічних функцій. Конкретно, такі функції включають, до прикладу здатність реалізувати, залежно від значення вхідного сигналу, автоматичну зміну діапазону вимірювання; здійснення самовалідації, самоперевірки, самодіагностики і т.д.; введення поправок, коли відбувається дія чинника впливу; лінеаризація метрологічних характеристик; компенсація температури холодного спаю для термопар і так далі.

Бездротовими сенсорними мережами вважаються сукупність просторово розподілених автономних сенсорів, призначених моніторити фізичні параметри чи зовнішні умови (Т, р, с, і т.д.) і спільно направляти отримані вимірювальні дані від мережі до кінцевого споживача. Більш сучасні мережі виконуються двонаправленими, що дає змогу додатково контролювати активності сенсорів. Розвиток бездротових сенсорних мереж умотивований їх широким застосуванням у виробництві та споживанні, моніторингу людей та режимів роботи обладнання, і так далі [18-19].

Бездротова сенсорна мережа побудована з «вузлів» - від декількох до декількох сотень або навіть тисяч, де кожен вузол з'єднаний з одним (іноді декількома) сенсорами. Кожний такий сенсорний мережевий вузол має, як правило, декілька типових конструктивних частин: радіопередавач-приймач з внутрішньою антеною або підключення до зовнішньої антени, мікроконтролер, електронну інтерфейсну схему для з'єднання з сенсорами і джерелом живлення (звичайно батарея або вбудована видозміна нагромаджувача енергії) [19].

Вузол мережі може варіюватися за розміром від взуттєвої коробки до розміру пилінки, хоча функціуючі "пилінки" справді мікроскопічних розмірів досі не створено. Вартість вузлів сенсорів є так само різноманітна, починаючи від кількох сотень доларів, залежно від складності окремих вузлів сенсорів. Розмір і вартість обмежень на сенсорні вузли призводять до виникнення відповідних обмежень на ресурси, такі як енергія, пам'ять, швидкість обчислень і частотний спектр пропускання комунікацій. Топологія бездротових сенсорних мереж може варіюватися від простого мережі типу «Зірка» до покращеної багатовузлової бездротової мережі типу «Сітка». Техніка поширення повідомлень вузлами мережі може бути маршрутизація або флудінг (простий алгоритм маршрутизації комп'ютерної мережі, в якій кожен наступний вхідний пакет відправляється по всіх вихідних каналах, за винятком одного, яким він прибув).

Висновки. Поєднання мережевих та інформаційно-вимірювальних технологій із виробленими продуктами й надаваними послугами лежать в основі нового покоління гнучких кібер-фізичних систем. Воно реалізується з допомогою смарт-сенсорів і смарт-актуаторів, потужного високоточного вимірювального обладнання та технологій. Реалізація кібер-фізичних систем неможлива без легко встановлюваних розумних вимірювальних приладів, які передбачають спектр різноманітних застосувань. Численні переваги включають широкомасштабну гнучку архітектуру, дані з високою роздільною здатністю та механізми, адаптовані до додатків, а також низку метрологічно специфічних функцій (самоперевірка, самокалібрування, самоналаштування, самоадаптація, самостійне коригування похибок, тощо), що безпрецедентно покращують їх характеристики.

Передбачувані шляхи подальшого розвитку розумних вимірюваних інструментів полягають у дослідженні та впровадженні Сенсорних мереж з покращеними параметрами, що досягається шляхом покращення основного і проміжного програмного забезпечення, шляхом забезпечення їх масштабованості, гнучкості та низки інших характеристик, а також проведенням метрологічної перевірки програмного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Cyber-Physical systems and Metrology 4.0, Co-editors S.Yatsyshyn, B.Stadnyk, 2021, IFSA Publishing, Barcelona.
2. NIST National Technical Information Service, FY 2014, Budget Submission to Congress, 2014.
3. P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D.Crawley. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Preprint. ACEEE Summer Study, Pacific Grove, California, August 14-18, 2006, pp.1-15.
4. J. Wan, H.Yau, H.Sau, F.Li, Advances in Cyber-Physical Systems Research, KSII Transactions on Internet and Information Systems, Vol.5, No.11, 2011, pp.1891-1908, DOI : 10.3837 / tis2011.11.001.
5. Industry 4.0: Revolution in Production. By SAP Guest, Published on October 10, 2012. <http://blogs.sap.com/innovation/innovation/industry-4-0-revolution-in-production-019559>.
6. B. Stadnyk, S. Yatsyshyn, O. Sehedra. Research in Nanothermometry. Part 6: Metrology of Raman thermometer with universal calibration artifacts, Sensors and Transducers, Vol. 142, Issue 7, 2012, pp. 1-9.
7. H. Salem, M. Nader, Middleware: middleware challenges and approaches for wireless sensor networks, *IEEE distributed systems online* 1541-4922, Published by the IEEE Computer Society, Vol. 7, No. 3; March 2006.
8. "What is Middleware?". *Middleware.org. defining technology*. 2008. Retrieved 2013-08-11.
9. The little big book of metrology, NPL, *Queen's Printer and Controller of HMSO*, 2011.
10. V. Yatsuk, T. Bubela, Y. Pokhodylo, Y. Yatsuk, R. Kochan, Improvement of data acquisition systems for the measurement of physical-chemical environmental properties, in Proc. of 9th IEEE Int. Conf. on Int. Data Acq. and Adv. Comp. Systems: Technology and Applications, 21-23 Sept. 2017, Bucharest, Romania, 2017, 6 p.
11. T.Fröhlich, O. Oleskiv, I. Mykytyn, Problems of Metrological Verification of Software for Modern Measuring Instruments, in Proc. 59th Ilmenau Sc. Col., Technische Universität Ilmenau, 11 – 15 September 20, 2017 (<https://core.ac.uk/download/pdf/224746145.pdf>).
12. A. Singh, Smart grid sensor, Int. Journ. Comp. Eng., Vol.2, Issue 7, 2012, pp. 930-963.
13. Program of the IEEE Int. Workshop for Industry 4.0 and IoT (2020) [Online], Available: <http://www.metroind40iot.org/home>
14. Sensor technology handbook, Editor-in-Chief Jon S. Wilson, SA, *Elsevier*, 2005.
15. Smart grid sensors, *IoT Agenda* (<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/smart-grid-sensor>).
16. S. Hadim, N. Mohamed, 2006. Middleware challenges and approaches for wireless sensor networks. *IEEE distributed systems online*, vol 7. Issue 3. 2006, Retrieved March 4, 2009.
17. Ad-hoc Sensor Networks (<http://www.brunel.ac.uk/cedps/electronic-computer-engineering/research-activities/wnc/ad-hoc-sensor-networks>).
18. Cyber-Physical Systems. Metrological Issues, Editors S. Yatsyshyn, B. Stadnyk, *IFSA Publishing*, Barcelona, 2016.
19. С. Яцишин, І. Кравець, Н. Доманцевич, Співішувачі надзвичайних ситуацій. Інформаційні технології та техногенна безпека, Вісник Східно-Українського національного університету ім. В.Даля., вип.7 (161), сс.227-235, 2011.