Міністерство освіти і науки України
НАН Вищої освіти України
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Національний авіаційний університет
Державне підприємство Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. академіка О.Г. Івченка
АТ «Мотор Січ»
Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О.Галкіна Національної академії наук України
Інститут Проблем Матеріалознавства ім. І.М. Францевіча НАНУ
Вінницький національний технічний університет
Донбаська державна машинобудівна академія
Київський національний університет технологій і дизайну
Луцький національний технічний університет
Люблінський політехнічний університет
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Чернігівська політехніка»
Національний університет «Запорізька політехніка»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Одеський національний політехнічний університет
Спілка машинобудівників Болгарії
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Херсонська державна морська академія
Хмельницький національний університет
Центральноукраїнський національний технічний університет

ХНТУ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ

IX-ої Міжнародної науково-практичної конференції

"Сучасні технології промислового комплексу – 2025",

Вересень 17, 2025 – Вересень 19, 2025



Херсон-Хмельницький 2025

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу – 2025", випуск 9. – Херсон, Хмельницький: ХНТУ, 2025. – 283 с.

Рекомендовано до друку як наукове видання Науково-технічною радою Херсонського національного технічного університету, Протокол №___ від ___.10.25 р.

В матеріалах конференції викладені нові теоретичні і прикладні результати щодо застосування сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі регіонів та машинобудуванні України. Розглянуті проблеми в галузях: технології машинобудування, обробки матеріалів тиском, легкої промисловості, розвитку економіки України, організаційно=технічних аспектів промисловості, робототехніки і мехатроніки, технології нанесення та обробки покриттів, виробництві нових матеріалів, зміцнення та відновлення деталей машин, системного аналізу та математичного моделювання складних об’єктів, проблем надійності та енергозбереження, захисту довкілля, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в машинобудуванні. Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України, викладачів, аспірантів та студентів ЗВО.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ЗВО, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний за випуск: д.т.н., проф. Д.О. Дмитрієв

Комп’ютерне макетування: асп. С.Г. Катріч,
асп. М.Ф.Кузмічов

Автори опублікованих матеріалів несуть персональну відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, наведення даних отриманих за допомогою ШІ, наявність відповідних посилань на джерела інформації, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

© Херсонський національний технічний університет, 2025

З М І С Т

СЕКЦІЯ 1
«ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ»

Верба І.І., Даниленко О.В.
Машинобудування – це минуле чи також і майбутнє? …..……..... **11**
Солодовник О.В.
Роль кластерів та інноваційних хабів у модернізації економіки..... **13**
Вдовиченко М. М.
Принципи створення індустріальних парків як інноваційної моделі економічного розвитку …….. **17**
Луцькова В.А. Мартиросян І.А.
Локальні суперфуди як елемент інноваційної моделі економічного розвитку … **19**
Чуприна А. Т.
Деякі аспекти державної підтримки інноваційних енергетичних стартапів в іноземних державах …… **21**
Штефан Є.В.
Моделювання процесів створення інфраструктури підприємницьких екосистем у промисловому комплексі України…… **24**
Лепетан І.М.
Бізнес-консалтинг як інструмент підвищення інноваційної спроможності організацій…… **28**
Внукова Н.М.
Зелені інвестиції для відновлення країни у звітах зі сталого розвитку…… **30**
Паламаренко Я.В.
Стратегічний менеджмент і маркетинг у системі бізнес-консалтингу…… **33**
Долінський В.О
Систематизація програмних сервісів розрахунку економічних показників у поліграфічному виробництві…… **35**
Zapotichna R.A.
Grants as a financial instrument for stimulating innovation…… **38**
Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Піщенко К.А., Борсук С.А.
Розсипання марганцевих сплавів: причини, наслідки, методи запобігання…… **40**

СЕКЦІЯ 2
«ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКА, РОБОТОТЕХНІКА І АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ»

Ю.М.Кузнецов
Генетичний підхід – ключ до опису і створення технічних систем (ТС) ……..... **44**
Дмитрієв Д.О., Кузмічов М.Ф.
Перспективні компоновки 3d принтерів з механічною постобробкою ..…….…. **45**
Ковалевський С.В., Шуліка М.С., Надіч П.В.
Ентропійна діагностика резонансних спектрів для підвищення надійності кінематичних пар …… **48**
Шевченко О.В., Крупська О.С.
Різцетримач з орієнтованою жорсткістю і демпфером токарно-револьверного верстата …… **50**
Драган М. Д., Бешта О. О.
LSC у міських умовах: потенціал для smart city та відновлюваної енергетики … **54**
Носов О.В.
Конвеєрні системи у складських процесах: типи, особливості, переваги …… **57**
Жеребцов О.А., Закатов О.Д., Василенко Є.В.
Розробка програми керування апаратурою управління шахтним конвеєром ….. **60**
Пановик У.П., Боровець А.А., Паньонтко Д.О.
Автоматизовані системи керування поліграфічним виробництвом у цифровій інфраструктурі індустрії 4.0 …….. **65**
Пановик У.П., Пановик Р.Р., Гідей Р.В.
Інтелектуальні методи тестування та оцінки якості автоматизованих інформаційних систем моніторингу і управління процесами …… **67**
Катріч С.Г., Дмитрієв Д.О.
Застосування інтелектуальних технології в сучасному адитивному виробництві …… **70**
Петренко В.В., Копилов В.І., Сєліверстов І.А.
Енергетичні характеристики міжфазної зони в умовах формуванні та руйнуванні плазмового покриття при випробуванні на згин…….. **73**
Анісімов В.М., Анісімов В.В, Кузяєв І.М.
Моделювання пружно-деформованого стану деталей із в'язко-пружних полімерних матеріалів в технологічних процесах швидкого прототипування…. **77**
Кузнєцов С.І., Івкіна Є.С.
Промисловий трибоелектростатичний пиловловлювач…… **79**
Михайлов А.О., Штефан Є.В., Михайлов О. В., Штерн М.Б.
Математична модель процесів формоутворення виробів з порошкових та пористих матеріалів…… **83**
Кузін О.А., Гасій О.Б., Гончар І.М., Кузін М.О.
Керування властивостями наплавлених шарів деталей за характеристиками структурно-енергетичного стану поверхонь поділу…… **87**

Taratuta K.
Classification of measures to increase the operational reliability of technological equipment…….. **89**
Бриков М.М., Гіржон В.В., Климов О.В., Капустян О.Є., Єфременко О.В.
Дослідження меж міцності сучасних високоміцних сталей та підхід до формулювання критерію конструкційної міцності…… **91**
Дегтярьов І.М., Петровський М.В., Мірошниченко Д.В., Ланчинський В.Г.
Основні етапи випробувань дистанційно-керованих платформ та аналіз їх результатів і подальший вплив на процес проєктування…… **93**
Дегтярьов І.М., Петровський М.В., Мірошниченко Д.В., Леонтьєв П.В., Журба В.О.
Важливість впровадження дистанційно-керованих платформ у сили оборони та у галузі народного господарства України…… **94**
Денисюк В.Ю., Остаповець А.О.
Аналіз методів контролю якості деталей, виготовлених адитивними технологіями…… **95**
Щербина К.К., Мандзюк Д.В.,
Аналіз системи регулювання радіального розміру хона в умовах динаміки…… **97**
Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Борсук С.А.
Використання штучного інтелекту в освітньому процесі за спеціальністю G10 «Металургія» …… **100**
Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Іванніков С.В.
Використання штучного інтелекту в металургійній галузі…… **103**
Носова Н.І.
Перспективи впровадження прогресивної техніки та технологій машинобудування у агропродовольчий сектор України…… **107**
Радяк І.В., Бакай Б.Я.
Динамічний аналіз механізму трелювання для переміщення лісоматеріалів на основі методу Релея…… **110**
Кириченко А.М., Амірсеідов М.Е
Моделювання руху робочого органу верстата з двох координатним паралельним механізмом …… **281**

СЕКЦІЯ 3
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТОВАРІВ ЛЕГКОЇ І ТЕКСТИЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»

Варданян А.О., Шокот Т.С., Гараніна О.О., Редько Я.В., Абраменко М.М.
Антимікробні технології у взуттєвій промисловості: властивості текстильних матеріалів …… **113**
Кузіна Н.В., Лапчак С.М., Мокра К.В.
Епідеміологія цукрового діабету у вагітних в україні: вплив на стопи ..…… **116**
Хоролова М. Г., Водзінська О. І.
Апсайклінг при проєктуванні молодіжної колекції одягу, взуття та аксесуарів у вуличному стилі …… **120**
Петрів Ю.І., Шукост П.І.
Моделювання факторів якості DTF-друку для текстильних виробів із використанням нечіткої логіки …… **123**

Kostiantyn Bilashov, Mykola Rubanka, Yurii Kovalov
Analytical review of morgan tecnica roll loaders …… **125**

Каптюрова Д.О., Чертенко Л.П., Липський Т.М.
Виготовлення накладок на взуттєві колодки методом FDM-друку для індивідуальних замовників із деформаціями стоп …….. **127**
Кошель О.С., Панасюк І.В.
Удосконалення машини для обробки деталей індустрії моди ……... **129**
Сугулов В.С.,Кошель С.О.
Механізм голки швейної машини розгалуженої конструкції …… **131**
Плешко С.А.
Підвищення ефективності роботи голки в'язальної машини ……. **132**
Плешко С.А.
Підвищення довговічності роботи клинів в'язальної машини …….. **134**
Семенко Д.А., Моргун В.І., Салєба Л.В.
Удосконалення рецептури твердих шампунів проти лупи……..…… **136**
Чекерес Ю.С., Первая Н.В.
Розробка виробів індустрії моди із застосуванням тривимірного сканування……..……..……..……..……..……..…… **138**
Манойленко О.П., Горобець В.А.
Моделювання в SolidWorks Motion динамічних характеристик головки плоскошовної швейної машини для оптимізації потужності привода…… **140**
Манойленко О.П., Безуглий Д.М.
До питання наскрізного армування багатошарових текстильних преформ: швейні технології як засіб запобігання деламінації…… **142**
Безуглий Д.М., Манойленко О.П.
Дослідження натягу нитки в процесі утворення стібка типу 101…… **145**
Ляшок І.О., Крюкова О.А., Барков Д.Д., Ковальський В.М., Сікора А.С.
Вплив полісахаридів на можливість волокноутворення методом електроформування…… **147**
Безуглий Д.М., Соловчук Є.О., Манойленко О.П.
Аналіз технологічного процесу утворення стібка типу 101 на основі об'єктно-орієнтованого підходу…… **149**
Лихопуд А. С., Дзикович Т.А.
Використання динамічних ліній у спортивних логотипах…… **152**
Безуглий Д.М., Соловчук Є.О., Манойленко О.П.
Алгоритм автоматизованого мехатронного регулювання подачі нитки у швейних машинах з однонитковим ланцюговим стібком типу 101…… **155**

СЕКЦІЯ 4
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНІЗМІВ, ВУЗЛІВ, ОСНАЩЕННЯ ВЕРСТАТІВ»

Мікосянчик О.О., Дубовик В.Є, Шевченко О.А., Мнацаканов С.Р., Богдан С.Ю.
Розробка міжшарових гібридних композиційних матеріалів конструкційного призначення …… **158**
Проценко В.О., Касян О.А.
Удосконалення випробувальної машини мип-100-2 …….. **160**
Смирнов І. В., Чорний А. В., Сєліверстов І. А., Ляшко О. Ю., Лазорик В..М., Селіверстова С. Р.
Властивості ущільніваючих плазмових покриттів з композиційних порошків AL-SI-BN для газотурбінних авіаційних двигунів …….. **163**
Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Рубанка М.М.
Удосконалення зубчастої передачі ……...…… **164**
Манько Т.А., Мурашко В.В.
Спосіб оцінки відповідності структури композиційної конструкції проектним характеристикам ……. **167**
Фесенко М. А., Фесенко А. М.
Модифікування розплавів – ефективний спосіб покращення структури і експлуатаційних властивостей чавунних виробів …….. **169**
Мокряк Б.Ю., Зінько Р.В.
Експериментальне дослідження роторного пневматичного двигуна…… **171**
Плис В.С., Дегтярьов І.М.
Аналіз перспектив застосування масштабного фактору під час процесів фрезерування тонкостінних деталей при виготовленні верстатних пристроїв… **174**
Крупа В.В., Щербань Ю.І., Канюка В.І
Шорсткість поверхні при глибокому свердлінні гартованої легованої сталі гарматним
свердлом…… **176**
Долгов М.А., Тарасовська С.О.
Механізми крайового відшарування керамічних, полімерних та композиційних покриттів…… **179**
Молочков Д.Є., Красносельський К.В., Куликовський Р.А.
Оптимізація процесу Wire Arc Additive Manufacturing шляхом динамічного керування складом захисного газу…… **182**
Бернацький А.В., Сіора О.В., Бондарєва В.І., Лукашенко В.А., Набок Т.М.
Дослідження поведінки неметалевих матеріалів під дією випромінювання різних лазерів високої потужності…… **184**
Фесенко М. А., Фесенко А. М.
Модифікування розплавів – ефективний спосіб покращення структури і експлуатаційних властивостей чавунних виробів…… **185**
Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Піщенко К.А.1, Борсук С.А.
Закономірності впливу зміни фазового складу системи C – Si – Mn – Fe на процес розсипання марганцевих сплавів…… **187**

Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Піщенко К.А.
«Зелена» металургія: проблеми, перспективи та прогнози …… **192**
Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Піщенко К.А.
Наноарт та металургія: використання інформаційних технологій при обробці мікро-та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів…… **196**
Григоренко Я.С., Дмитрієв Д.О.
Інтелектуальні технології визначення характеристик якості металевих виробів в процесах пошарового утворення ……..…….. **200**

СЕКЦІЯ 5
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ В ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ І ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ»

Войтович О.А., Ткач В.О.
Аналіз процесу організації та проведення транспортно-товарознавчої експертизи ……..……. **203**
Єдинович М.Б., Криворучко Б.В., Кузьміна Т.О.
Застосування мереж петрі для моделювання системи ACC автомобіля ……. **205**
Чміль М.П., Голощапов С.С.
Аналіз динамічних властивостей приводів на базі асинхронних короткозамкнених двигунів …….. **207**
Дзензерський В.О., Тарасов С.В., Сухова О.В., Іванов В.А., Александров О.В.
Моделювання напружено-деформованого стану струмовідводів VRLA-акумуляторів ……... **210**
Русанов С.А., Клюєв О.І., Шатохіна І.А., Шильцин Я.В.
Аналіз задачі адитивності поля швидкостей в зовнішній задачі аеродинаміки автомобіля засобами CFD-розрахунків …… **214**
Кошель С.О., Кошель Г.В.
Структурне дослідження механічної системи з подвійною рухомістю по відношенню до корпуса ……. **217**
Кошель Г.В., Кошель С.О.
Інтеграція ергономічних принципів у систему контролю втоми водія …… **219**
Кошель Г.В., Поповіченко С.А.
Дизайн та ергономіка легких транспортних засобів підвищеної прохідності …. **221**
Банга М.М., Фостик П.П., Литвиненко О.В.
Характеристика епоксидних нанокомпозитів призначених для створення корпусів безпілотних систем і апаратів ……... **223**
Браїло М.В., Соценко В.В., Романюк В.С.
Епоксидні нанокомпозити для створення корпусів безпілотних літальних і морських апаратів …….. **224**
Букетов А.В., Стрельченко В.Ю., Юренін К.Ю., Голотенко С.М.
Механічні властивості пластифікованих епоксикомпозитів з мікродобавками .. **225**
Воробйов П.О., Сапронова А.В., Радул Т.О.
Зменшення біоплівкоутворення на судновому обладнанні за допомогою епоксидних покриттів …….. **226**

Сапронов О.О., Шаранов В.Д., Даниленко Д.О.
Використання епоксидних покриттів з біоцидною добавкою для забезпечення екологічної безпеки у сфері морського та річкового транспорту …… **227**
Сапронова Л.О., Торопенко В.В.
Наногетерогенні епоксидні покриття з біоцидними добавками для захисту суднових конструкцій …… **229**
Поливода В.В., Поливода О.В., Сіманенков А.Л.
Вдосконалення автоматизованої системи оперативної діагностики стану головного двигуна судна з використанням ентропійного підходу …… **230**
Луб'яний П.В., Кузьменко І.О
Визначення доцільності перевезень вантажів автомобільним транспортом через термінали…… **233**
Славич В.П., Волошанський В.О.
Системи організації транспортного руху на дворівневих парковках…… **235**
Носов О.В. , Ковальов Ю.А.
Напрямки удосконалення транспортно-логістичних систем…… **237**
Кузишин А.Я.
Експериментальні дослідження комфортабельності рухомого складу з пневматичної системою ресорного підвішування…… **238**
Пелех О.Р., Зінько Р.В.Експериментальне дослідження параметрів пружних елементів підвіски
автомобіля…… **240**
Бохонко А.В., Зінько Р.В.
Подолання м'яких грунтів автомобілем з аерокомпенсатором…… **242**
Сидоренко В.К., Лосіков О.М.
Технологічні перспективи розвитку системи безпеки автомобілів…… **244**

СЕКЦІЯ 6
«ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ, CAD/CAM/CAE»

Андронова О.В., Курак В.В.
Моделювання роботи MPP трекера на основі понижувального імпульсного перетворювача …… **247**
Xiaoxuan Qin.
Problems of modeling passenger correspondence matrices …… **249**

Веселовська Н. Р.
Комплекс комп'ютерного моделювання STATEFLOW-SIMULINK …… **252**
Пановик У.П., Тупісь А.І., Хербетко В.І.
Системний підхід до розвитку виробничих процесів із використанням cad/cam/cae-технологій …… **253**
Осттровська Г., Островський О.Т
Цифрове управління промисловими підприємствами: людиноцентричний підхід…… **256**
Манько Т.А., Ткачов С.П.
Математична модель визначення структури розподілення автоматизованих **260**

систем управління……
Сімінченко І.П., Поніч Д.П.
Синтетичні дані та їх роль у підготовці моделей штучного інтелекту для індустрії 4.0…… **262**

СЕКЦІЯ 7
«РОЗВИТОК НАУКИ ПРО ЖИТТЯ І ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ»

Головчук Ю.О., Школьнікова В.В.
Управління якістю та стандартизація медичної допомоги в умовах реформування галузі…….. **265**
Головчук Ю.О., Шкребтієнко В.М.
Цифрові технології в управлінні охороною здоров'я……..….. **267**
Роїк О.М., Литвин В.В.
Основні аспекти використання безводної косметики (твердих шампунів) в сучасних умовах……..…… **270**
Semeshko O.1, Melnyk I.
Multifunctional silica nanoparticles for removal and sensing of environmental pollutants in water ……..…….. **271**
Tereshchenko N.Y.
Oil-containing dietary supplements: ecological and methodological foundations for laboratory analysis …… **272**
Шинкаренко В.Ф
Технологія генетичного передбачення як наукова платформа в реалізації стратегії керованої еволюції технічними інноваціями…… **274**
Гагалюк А.В,. Гагалюк О.І
Технологічне забезпечення сталого розвитку промислових підприємств…… **278**
Кобельник О.С., Оліховський В.І., Лещук Р.Я., Кобельник В.Р.
Ефективність застосування регулювання подачі в процесі свердління отворів, що перетинаються…… **279**
Воробйов П.О.
Полімерні покриття з підвищеними показниками теплофізичних характеристик для водного транспорту…….. **280**

СЕКЦІЯ 1
«ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ»

УДК 621 [377+378]

МАШИНОБУДУВАННЯ – ЦЕ МИНУЛЕ ЧИ ТАКОЖ І МАЙБУТНЄ?

Верба І.І., Даниленко О.В.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ознайомлюєшся із метою конференції «Сучасні технології промислового комплексу» (2025) і радієш: просто рожева мрія! Застосування сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі регіонів України: що може бути краще? Доцільно й доречно, особливо під час воєнного стану. Наукові проблеми вирішуються не як «мистецтво заради мистецтва», а за потребою й за зв'язком із прогресивними технікою і технологіями машинобудування, мехатронікою, робототехнікою і автоматизованим управлінням. Наші науковці та конструктори показали всьому світові, на що вони здатні у розробці та виготовленні озброєння різних типів, зокрема й дуже сучасного.

Я радію, що нам є кого послухати на конференції, пишаюся, що за їхньою участю здійснюють використання результатів науково-технічної та інноваційної діяльності вчених України і зарубіжжя, впроваджуються сучасні інноваційні технології у промисловому комплексі регіонів України.

Але мене хвилює питання: а що нас чекає в подальшому?

Зараз якраз відбувається вступна кампанія до ЗВО. І що ми бачимо? Висновок у публікації Соцпорталу [1] відзначає, що попит на інженерні, природничі та точні науки залишається низьким. І названі фізика, математика, хімія та біологія. А де ж інженерні науки? Десь у іншому контексті прослизнув вираз «інженерія програмного забезпечення» і все.

Взагалі-то інженерія охоплює багато галузей, це різновид інтелектуальної діяльності із застосування досягнень науки до розв'язку конкретних техніко-технологічних проблем, тобто спрямування на діяльність у сфері матеріального виробництва. І саме інженер використовує свої знання і досвід, здатність аналізувати і оцінювати конструкції й процеси для проєктування нових або вдосконалення існуючих машин і виробничих процесів та гарантування безпечної експлуатації. Але складну сучасну техніку без застосування наукових знань створити неможливо. Отож умова розвитку машинобудування, зокрема й галузі виробництва машин та обладнання, потребує інженерів та науковців відповідних галузей.

Яку ситуацію маємо у наявності?

Міністр економіки України Юлія Свириденко у своєму виступі у Верховній Раді 4 листопада 2021 р. перелічила пріоритетні напрямки розвитку української економіки: відновлення машинобудування, імпортозаміщення, розвиток індустріальних парків та інформаційних технологій. Поза всяким сумнівом, для незалежності України всі перераховані напрямки є актуальними.

Відомо, що дефіцит кадрів у промисловості збільшується: як наслідок виїзду за кордон після початку війни громадян України, мобілізації та участі в бойових діях персоналу промислових підприємств (підтверджено Державною службою зайнятості).

А як справи із підготовкою інженерів? І хто в подальшому буде займатися науковими дослідженнями та впровадженням інновацій, якщо буде дефіцит кадрів з інженерною освітою? Розумні люди, але навпомацки? В навчальних програмах закладів вищої освіти практично зникає навіть термін «інженер». Галузь знань – 13. Механічна інженерія, спеціальність – 131. Прикладна механіка. Це про що? Про все одразу? І про обладнання, і про технології, і про окремі напрямки типу робототехніки? Значний обсяг корисних (без сумніву!) знань, які отримує студент під час навчання, не завжди конкретні щодо об'єкта подальшої діяльності. Не секрет, що дистанційне навчання дає можливість студенту працювати, але чи завжди за майбутнім фахом? Чи отримає він додаткові знання? Навряд чи я кажу щось невідоме чи несподіване, але факт полягає у тому, що навіть в разі, якщо якісь навчальні заклади займаються цими питаннями, то так сказати «у приватному порядку». Немає державної програми по підтримці підготовки технічних спеціалістів. Співробітникам пропонують займатися агітацією майбутніх вступників. І чим привабити молодь, яка ще не визначилась із своїми уподобаннями? Не завжди Дні відчинених дверей дозволяють продемонструвати якісь цікавинки.

Навіть під час воєнних дій ми говоримо й думаємо про Індустрію 4.0 та Індустрію 5.0. Зрозуміти, оцінити та сприяти цим інноваціям можуть лише фахівці певної кваліфікації. А що буде у майбутній Україні? Хіба українцям властиво весь час іти за кимось, без самостійних досягнень?

Що робити? Мене переслідує ця думка як нав'язлива ідея. Особисто я не знаю докладно. Пишу на цю тему[2, 3, 4] – голос без відповіді. Далі приватних розмов справа не йде. Адже щоб запропонувати певний план та керувати його здійсненням також треба мати відповідну підготовку й досвід.

Висновки. Необхідно створити робочу групу з досвідчених спеціалістів у технічних галузях та за участі менеджерів і юристів.

1. Розробити план дій з вирішення питання, в якому ми зацікавлені.
2. Передбачити необхідність певного фінансування з боку держави та напрямки, запропонувати, яким чином спробувати забезпечити постійний зв'язок між закладами освіти та підприємствами, можливо вказувати проблемні питання на сайтах підприємств (подібна практика існує, наприклад, у Німеччині, де таким чином обирають теми та майбутні місця практики для студентів магістратури) тощо.
3. Звернутися до МОН України з пропозиціями впливу на ситуацію, яка склалася в освіті з інженерними науками та підготовкою майбутніх спеціалістів.
4. Новий підхід до організації підготовки технічних спеціалістів повинен ґрунтуватися на розширенні інформативності та універсальності навчальних програм

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткаліч О. Вступ-2025 [Електронний ресурс] / СОЦПОРТАЛ – Режим доступу https://socportal.info/ua/news/top-10-universitetiv-ukraini-za-kilkistiu-zayav-de-tcogorich-khochut-navchatisya-abiturienti/ – Назва з екрана
2. Верба І.І. Виробництво засобів виробництва – забаганка? Чи потреба? // Сучасні технології промислового комплексу – 2024: VIII міжнар. наук.-практ. конф., 17-19 вересня 2024 р : тез. докл./ м. Херсон, м. Хмельницький) / за ред. Д. О. Дмитрієва. – Херсон : Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 220 с. – с. 19-21 – Електронне видання.– URL: https://kntu.net.ua/ukr/content/download/117885/660812/file/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8%20%D0%A1%D0%A2%D0%9F%D0%9A-2024.pdf
3. Верба І. І**.** Відновлення верстатобудування – умова розвитку промисловості України / Верба І. І**.,** Даниленко О. В. / Технічні науки та технології: науковий

журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2025. – № 1(39). – 378 с. – 69-84 – URL: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)
4. ***Верба Ірина Іванівна, Даниленко Олександр Васильович***
5. Що визначає ефективність наукових досліджень закладів вищої освіти технічного спрямування? / Світ наукових досліджень. Випуск 43**:** матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна, м. Ополе, Польща, 16-17 липня 2025 р.) / за ред. : О. Патряк та ін. ГО "Наукова спільнота", WSZIA w Opolu. Тернопіль: ФО- П Шпак В.Б. 2025. – 97 с. **–** с. 80 -83**.–** URL: https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6375/

УДК 330.338.2

РОЛЬ КЛАСТЕРІВ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ХАБІВ У МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

Солодовник О.В.
Харківський національний університет ім. Василя Каразіна

В умовах глобальної конкуренції та стрімкого технологічного розвитку кластери та інноваційні хабі стають ключовими інструментами модернізації національних економік. Особливої актуальності це питання набуває для України, яка навіть в умовах війни демонструє стійкість інноваційних екосистем та потенціал для економічного відновлення на новій технологічній основі. Сучасна парадигма економічного розвитку базується на принципах інноваційності, де кластерний підхід забезпечує синергетичний ефект між учасниками ринку, сприяє концентрації знань та ресурсів, створює умови для прискореного технологічного трансферу та формування конкурентоспроможних національних економік.

Сучасні дослідження засвідчують, що технологічний сектор залишається одним із ключових стовпів економіки України, суттєво сприяючи надходженню іноземної валюти. Згідно з даними IT Research Ukraine 2024, технологічний сектор є найбільшим експортером послуг України, при цьому комп'ютерні послуги становлять 38% загального обсягу експорту послуг [1]. Це підтверджує важливість кластерного підходу в розбудові високотехнологічних галузей економіки та демонструює потенціал для масштабування успішного досвіду на інші сектори національної економіки.

Технологічний сектор вносить 4,4% у валовий внутрішній продукт (ВВП) України [1], займаючи друге місце в загальній структурі експорту країни після експорту продовольчих товарів. Така позиція підкреслює стратегічне значення технологічних кластерів для національної економіки та їх потенціал як основи для постконфліктного відновлення. Станом на 2024 рік в Україні функціонує 2,118 активних, верифікованих технологічних компаній, що свідчить про масштаби та зрілість кластера [1].

Аналіз функціонування українських IT-кластерів показує їх значний мультиплікативний ефект на економіку. Кожна технологічна компанія, найнявши одного спеціаліста, генерує та підтримує 2,8 робочих місць, що на 0,1 пункту більше порівняно з 2023 роком [1]. Загалом галузь зберегла приблизно 663-668 тисяч робочих місць, включаючи пряму та непряму зайнятість, що свідчить про стійкість кластерної моделі навіть в екстремальних умовах воєнного стану.

Структурний аналіз зайнятості в технологічних кластерах демонструє диверсифіковану модель: 44,2% спеціалістів працюють у сервісних компаніях (зниження на 6,9% порівняно з попереднім роком), 36,4% залучені до продуктових компаній та

стартапів (зростання на 4,2%), ще 17,4% працюють у компаніях зі змішаною бізнес-моделлю [1]. Така структурна трансформація свідчить про еволюцію кластера від переважно аутсорсингової моделі до більш інноваційно орієнтованої, що є важливим показником зрілості інноваційної екосистеми.

Медіанний дохід спеціаліста технологічного кластера в Україні становить $2,590, при цьому більшість респондентів повідомили про зростання витрат на 75,6% у 2024 році [1]. Найбільша частина доходів спрямовується на основні потреби, такі як оренда житла та харчування, при цьому в середньому не більше 23% виділяється на інші категорії. Це свідчить про адаптацію кластера до воєнних умов та збереження купівельної спроможності його учасників.

Європейський досвід демонструє ефективність програм кластерного партнерства для зміцнення інноваційних екосистем. ЄС-Україна Програма кластерного партнерства спрямована на розбудову кластерних можливостей та професіоналізацію підтримки як європейських, так і українських МСП [8]. Така співпраця забезпечує трансфер знань, технологій та кращих практик управління інноваціями, створюючи міжнародні ланцюги вартості та підвищуючи конкурентоспроможність національних підприємств.

Програма InnovFin науки EIB підтримала проект українського інноваційного кампусу в UNIT.City кредитом у розмірі 15 мільйонів євро [3]. Цей проект демонструює важливість міжнародної підтримки у створенні інноваційної інфраструктури та формуванні стійких партнерських відносин між європейськими та українськими інноваційними екосистемами. Кампус об'єднує освітні заклади, дослідницькі центри та технологічні компанії, створюючи повноцінну інноваційну екосистему за європейськими стандартами.

Важливим аспектом є створення спеціалізованих інноваційних хабів. Новий регіональний хаб Європейського інституту інновацій та технологій, розташований у Києві, з'єднає регіональних акторів, інноваторів та партнерів з найбільшою інноваційною екосистемою Європи та слугуватиме єдиним центром для місцевих стейкголдерів [4]. Це створює синергетичний ефект між національними та європейськими інноваційними мережами, забезпечуючи доступ до європейського досвіду, фінансування та ринків збуту.

Львівський IT-кластер є яскравим прикладом успішної регіональної інноваційної екосистеми, яка продовжує ефективно функціонувати навіть в умовах війни. EU4Digital активно підтримує розвиток IT-сектору через програми навчання, підтримки стартапів та сприяння цифровій трансформації [4]. Ця підтримка включає не лише фінансування, а й технічну допомогу, обмін досвідом та створення мереж партнерства з європейськими кластерами.

Регіональні кластери відіграють важливу роль у створенні альтернативних центрів економічного зростання, зменшуючи концентрацію інноваційної діяльності лише в столиці. Львівський приклад демонструє можливості формування самодостатніх регіональних екосистем, здатних конкурувати на міжнародному рівні та залучати інвестиції. Станом на 2024 рік кластер об'єднує понад 200 технологічних компаній та підтримує різноманітні ініціативи від освітніх програм до венчурного фінансування.

Структурний аналіз українських технологічних кластерів показує їх прогресивну трансформацію: близько половини компаній орієнтовані на надання послуг, 47% зосереджені на аутсорсингу та 3% на аутстафінгу, ще 31% є продуктовими компаніями, решта працює зі змішаною бізнес-моделлю [1]. Така структура забезпечує стійкість екосистеми до зовнішніх шоків та створює умови для внутрішнього розвитку повного циклу інноваційної діяльності – від ідеї до комерціалізації.

Аналіз кадрового потенціалу українських технологічних кластерів засвідчує високий рівень кваліфікації та професійного досвіду: понад 43% спеціалістів мають більше 6 років технічного досвіду, включаючи 9% з понад 15-річним досвідом роботи в галузі [1]. Більше 82% талантів складають спеціалісти рівня Middle, Senior та Lead, що

створює міцну основу для інноваційного розвитку та забезпечує конкурентоспроможність кластера на глобальному рівні.

Демографічний профіль спеціалістів показує концентрацію найбільш продуктивного та мобільного контингенту: найбільша група спеціалістів віком від 26 до 35 років, середній вік становить 31,5 років, близько 68% не мають дітей [1]. Ці характеристики свідчать про високу мобільність, готовність до інновацій та адаптації до швидких змін серед учасників кластера, що є критично важливим для високотехнологічних галузей.

Кількість фахівців галузі становить 302,000 осіб, з яких 238,000 технічних спеціалістів живуть та працюють в Україні [1]. Важливою тенденцією є зростання частки спеціалістів з нетехнічною освітою до 39,2%, що демонструє міждисциплінарний характер сучасних інноваційних процесів та здатність кластера інтегрувати різні галузі знань для створення комплексних рішень. Майже половина працівників галузі має або здобуває технічну освіту в галузі комп'ютерних наук, однак зростає кількість спеціалістів з нетехнічних сфер.

Міжнародне визнання підтверджує ефективність української інноваційної екосистеми та її стійкість в умовах війни. Україна посіла 46-е місце серед 100 країн у Глобальному індексі стартап-екосистем 2024 [6], що демонструє конкурентоспроможність національної інноваційної системи на глобальному рівні. Це досягнення особливо вражаюче з урахуванням воєнного стану та підтверджує ефективність кластерної моделі організації інноваційної діяльності як інструменту забезпечення стійкості економіки в кризових умовах.

Успіхи українських технологічних кластерів на міжнародній арені включають участь у глобальних інноваційних програмах, отримання міжнародних інвестицій та визнання провідними міжнародними організаціями. Програма НАТО DIANA (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic) включає український інкубатор Tehnopol до свого акселераторного портфеля [7], що свідчить про високу оцінку потенціалу української інноваційної екосистеми навіть у стратегічно важливих сферах.

Подальший розвиток кластерів та інноваційних хабів в Україні має спиратися на системний підхід, що включає вдосконалення інституційної інфраструктури, поглиблення міжнародної співпраці, розширення спектру підтримуваних галузей та створення сприятливого регуляторного середовища. Важливим напрямком є розвиток регіональних кластерів, які могли б стати точками зростання для менш розвинених територій та забезпечити більш збалансований регіональний розвиток.

Необхідно також активізувати роботу щодо створення кластерів у традиційних галузях економіки – агропромисловому комплексі, машинобудуванні, енергетиці, зеленій енергетиці, використовуючи досвід технологічного сектору та адаптуючи кращі практики до специфіки інших галузей. Це дозволить диверсифікувати економіку, зменшити залежність від окремих секторів та створити більш стійку до зовнішніх шоків економічну структуру.

Таким чином інноваційні хаби відіграють визначальну роль у модернізації економіки, забезпечуючи синергетичний ефект між учасниками, стимулюючи інновації та створюючи стійкі конкурентні переваги. Український досвід демонструє, що навіть в екстремальних умовах воєнного стану правильно організовані кластери здатні не лише зберігати, а й нарощувати свій потенціал.

Успішність українських технологічних кластерів базується на унікальному поєднанні високого рівня людського капіталу, ефективних та адаптивних бізнес-моделей, активної міжнародної інтеграції та високого рівня соціальної відповідальності. Мультиплікативний ефект кластерів (2,8 робочих місць на одного прямого працівника), їх здатність до структурної адаптації та потужний інноваційний потенціал створюють міцне підґрунтя для довгострокового економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності національної економіки.

Подальший розвиток кластерних ініціатив та поглиблення міжнародної співпраці є критично важливими для забезпечення довгострокової конкурентоспроможності національної економіки. Розширення кластерного підходу на традиційні галузі економіки, створення міжгалузевих зв'язків та формування інтегрованої національної інноваційної екосистеми мають стати пріоритетами економічної політики України в період відбудови та модернізації. Досвід української інноваційної екосистеми може слугувати моделлю для інших країн, що стикаються з подібними викликами та прагнуть до технологічної модернізації своїх економік.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dynamics of Ukraine's Tech Industry: Results from IT Research Ukraine 2024. Resilience as the New Reality. Lviv IT Cluster. URL : https://itcluster.lviv.ua/en/dynamics-of-ukraines-tech-industry-results-from-it-research-ukraine-2024-resilience-as-the-new-reality/ (дата звернення: 04.09.2025).
2. Ukraine - Innovation and entrepreneurship ecosystem diagnostic. World Bank Group. 2017. URL : https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/126971509628933853 (дата звернення: 04.09.2025).
3. InnovFin Science Programme: EIB supports Ukrainian innovation campus project in UNIT.City. European Investment Bank. 2020. URL : https://www.eib.org/en/press/all/2020-170-innovfin-science-programme-eib-supports-ukrainian-innovation-campus-project-in-unitcity (дата звернення: 04.09.2025).
4. Promoting IT During War: Lviv IT Cluster and How EU4Digital Helps. EU4Digital. URL : https://eufordigital.eu/promoting-it-during-war-lviv-it-cluster-and-how-eu4digital-helps/ (дата звернення: 04.09.2025).
5. Ukraine: "The Ukrainian IT sector is one of the few industries remaining afloat". The Recursive. 2025. URL : https://therecursive.com/ukraine-the-it-sector-is-one-of-the-few-industries-remaining-afloat/ (дата звернення: 04.09.2025).
6. Global Startup Ecosystem Index 2024: Ukraine in the top 50. Ukrainian Startup Fund. URL : https://usf.com.ua/en/global-startup-ecosystem-index-2024-ukraine-in-the-top-50/ (дата звернення: 04.09.2025).
7. Tehnopol Startup Incubator. DIANA - Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic. NATO. URL : https://www.diana.nato.int/accelerator-programme/tehnopol-startup-incubator.html (дата звернення: 04.09.2025).
8. EU4Business Country Report 2024: Ukraine. URL : https://eu4business.eu/reports/eu4business-country-report-2024-ukraine/ (дата звернення: 04.09.2025).
9. Ukrainian Cluster Ecosystem Analysis. Interreg Europe. 2025. URL : https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/2025-02/Ukrainian%20Cluster%20Ecosystem%20Analysis.pdf (дата звернення: 04.09.2025).
10. Enhancing resilience by boosting digital business transformation in Ukraine. OECD. 2024. URL : https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/05/enhancing-resilience-by-boosting-digital-business-transformation-in-ukraine_c2e06e50/4b13b0bb-en.pdf (дата звернення: 04.09.2025).

УДК 338.3:330.44-043.86

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ПАРКІВ ЯК ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

Вдовиченко М. М.
Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

Індустріальні парки (ІП) розглядаються як інноваційна інституційно-просторова модель, що поєднує кластеризацію виробництв, трансфер технологій, інфраструктурну готовність та інструменти промислової політики. Вони забезпечують зниження трансакційних витрат входу компаній, прискорюють запуск виробництв і підвищують продуктивність через концентрацію взаємо доповнюваних компетенцій і сервісів [2; 3; 5]. На відміну від традиційних проммайданчиків, сучасні ІП інтегрують стандарти еко-індустріальних парків (EIP), цифровізацію управління ресурсами та практики промислової симбіозності, що підсилює стійкість і конкурентоспроможність резидентів [1].

У світовій практиці організовані промислові зони та індустріальні парки стали каталізаторами інвестиційної активності, експорту та технологічної модернізації (ЄС, Туреччина, КНР, Південна Корея). Їх ефективність зумовлена випереджальною підготовкою земельних ділянок і мереж, спільними сервісами, інституційною передбачуваністю й інтеграцією з науково-освітнім середовищем [5; 6; 7]. Для України, яка реалізує стратегію розвитку ІП на 2023–2030 роки, такі інструменти критично важливі для реіндустріалізації, відновлення виробничих ланцюгів та інтеграції до глобальних ланцюгів доданої вартості [9].

Ключові принципи створення та функціонування індустріальних парків:

1. Системність і цілісність проєктування. ІП як «система систем»: узгодження просторового планування, інженерії, логістики, правового режиму та сервісного пакета. Операціоналізація через master-plan, BIM/GIS-моделювання, каталог стандартів і SLA на підключення/сервіси [5].
2. Територіальна спеціалізація та кластеризація. Фокус на споріднених виробництвах із формуванням критичної маси попиту на кадри, постачальників і R&D. Приклади – теорія кластерів та смарт-спеціалізація [2; 4].
3. Сервісність «єдиного вікна». Централізоване супроводження дозвільних, земельних, митних і комунальних процедур; цифровий кабінет резидента; прозорі тарифи. Зменшення часу та вартості входу бізнесу [5].
4. Відкрита та модульна інфраструктура («plug-and-produce»). Підготовлені ділянки, резервування потужностей, спільні сервісні центри (лабораторії, прототипування, логістика), гнучке зонування [6].
5. Інноваційність і трансфер технологій. Інтеграція з університетами та R&D-центрами, інкубатори й акселератори при ІП, механізми інноваційних ваучерів й IP-політики [5].
6. Сталість, енергоефективність і циркулярність. Впровадження стандартів EIP, промислова симбіозність (обмін матеріальними/енергетичними потоками), ВДЕ та системи моніторингу ресурсів [1].
7. Інституційна надійність і передбачуваність правил. Прозорий відбір резидентів, типові договори, публічний нагляд і комплаєнс-політики; роль незалежної наглядової ради [5].

8. Цифровізація та управління даними. Від «розумних» мереж і AMR/SCADA до цифрових двійників парку; відкриті дані для інвесторів і аналітичні панелі KPI [4; 5].

9. Розвиток людського капіталу й соціальна інклюзія. Дуальна освіта, навчальні центри при ІП, транспортна доступність і стандарти безпеки праці [5].

10. Безпека та стійкість. Плани безперервності бізнесу (BCM/DR), резервне енергоживлення, цивільний захист і кібербезпека; особливо актуально для України [1; 9].

11. Фінансова інженерія та партнерства. Багато джерельне фінансування (бюджетні/муніципальні кошти, ДПП, кошти МФО, приватний капітал), інфраструктурні субвенції та гарантії для МСП [5; 8; 9].

12. Експортна орієнтація та інтеграція у ланцюги вартості. Центри експортної підтримки, сертифікація (ISO/CE), логістика «до дверей» хабів [5].

Управлінська й фінансова модель індустріального парку включає ролі ініціатора (держава/громада/приватний девелопер), керуючої компанії (з договірними SLA і публічною підзвітністю), наглядової ради (участь засновника, резидентів, громадськості) та резидентів, діяльність яких регламентується законом «Про індустріальні парки» та внутрішніми політиками парку [8; 9]. Фінансова модель поєднує CAPEX на підготовку територій і мереж (дороги, ПС/ЛЕП, вода/каналізація, очисні споруди, зв'язок, сервісний центр) та OPEX на експлуатацію, охорону й розвиток. Джерела: державні й місцеві бюджети (зокрема інфраструктурні програми для ІП), фонди МФО, приватні інвестиції в межах ДПП, муніципальні індустріальні облігації, плата резидентів (оренда, підключення, сервіси) [5; 8; 9].

Дорожня карта створення ІП охоплює: 1) ініціацію та відбір локації (аналіз попиту/пропозиції, відповідність генпланам, ризик-профіль); 2) ТЕО і master-plan (етапність будівництва, інженерні схеми, екологічний скринінг); 3) землевідвід і регламенти діяльності; 4) підключення до мереж (електрика з резервуванням, газ/альтернативи, вода/каналізація, зв'язок, автодороги/залізниця); 5) політики керуючої компанії (відбір резидентів, прозорі тарифи, екополітики, безпека та BCM/DR); 6) фінансове закриття (структура фінансування, гарантії, договори ДПП/підрядів); 7) будівництво першої черги; 8) залучення «якірних» резидентів і партнерів (університети, логістика, банки); 9) операційний запуск із цифровими сервісами та KPI-дашбордами; 10) масштабування та модернізацію (енергоефективні апгрейди, проєкти симбіозу) [1; 9].

Система показників ефективності має відстежувати: інвестиції (CAPEX/OPEX, приватні вкладення), економічні результати (кількість резидентів, робочі місця, експорт, локалізація, продуктивність), інноваційність (частка R&D, спільні проєкти з університетами, IP-активність), сталість (частка ВДЕ, скорочення CO_2e, водооборотність, обсяг вторсировини), сервісність (час підключень і дозвільних процедур, задоволеність резидентів), просторові метрики (ступінь забудови, щільність робочих місць, транспортна доступність) [1; 4; 5].

Український контекст формує специфічні ризики та пріоритети: регуляторна невизначеність і затримки дозволів (вирішується цифровими регламентами й типовими договорами), інфраструктурні вузькі місця (мікромережі, резервне енергоживлення, контрактні зобов'язання операторів), фінансова доступність для МСП (портфельні гарантії, компенсації підключень, лізинг обладнання), кадровий дефіцит (дуальна освіта, центри підготовки при ІП), безпекові ризики (укриття, страхування критичних ризиків, кіберзахист) [1; 5; 9].

Отже, індустріальні парки як інноваційна модель економічного розвитку забезпечують прискорення структурної трансформації та підвищення конкурентоспроможності за рахунок кластеризації, інфраструктурної готовності, сервісної підтримки, цифровізації й упровадження стандартів сталості. Запропонована система принципів і дорожня карта їх операціоналізації формують практичний базис для планування та запуску ІП в Україні з урахуванням міжнародних уроків, вимог зеленого переходу та післявоєнних викликів [1; 2; 5; 9].

Література:

1. UNIDO/World Bank/GIZ (2017; 2021). Framework for Eco-Industrial Parks: Implementing the International EIP Approach. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-10/Framework_for_Eco-Industrial_Parks_2017.pdf
2. Porter, M. E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition. Harvard Business Review, 76(6), 77–90. URL: https://hbr.org/1998/11/clusters-and-the-new-economics-of-competition
3. Krugman, P. (2011). The New Economic Geography, Now Middle-Aged. Regional Studies, 45(1), 1–7. https://doi.org/10.1080/00343404.2011.537127
4. European Commission. Smart Specialisation Platform: Industrial Modernisation. URL: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu
5. OECD (2022). An Industrial Policy Framework for OECD Countries: Old Debates, New Perspectives. Paris. URL: https://www.oecd.org/publications/an-industrial-policy-framework-for-oecd-countries-0002217c-en.htm
6. World Bank (2023). Urban Development – Overview. URL: https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview
7. Wang, J. H., & Lee, C. K. (2007). Global Production Networks and Local Institution Building: The Development of the IT Industry in Suzhou, China. Environment and Planning A, 39(8), 1873–1888. https://doi.org/10.1068/a38428
8. Закон України «Про індустріальні парки» (чинна редакція). URL: https://zakon.rada.gov.ua
9. Стратегія розвитку індустріальних парків на 2023–2030 роки. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80
10. UNCTAD (2015). Investment Policy Framework for Sustainable Development. Geneva. URL: https://unctad.org/publication/investment-policy-framework-sustainable-development

УДК 332:330.341.1

ЛОКАЛЬНІ СУПЕРФУДИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

[1]Луцькова В.А. [2]Мартиросян І.А.
[1]Херсонський національний технічний університет
[2]Одеський національний технологічний університет

Міжнародна практика свідчить, що стабільний економічний розвиток в умовах глобальних викликів і продовольчих криз забезпечується інноваційною складовою, насамперед активним упровадженням у виробничі процеси новітніх технологій і розробок [1]. Одним із перспективних напрямів є використання локальних суперфудів, які поєднують високу харчову цінність, доступність та потенціал для формування конкурентних переваг на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Суперфудами називають продукти харчування переважно рослинного походження, які характеризуються високим рівнем біологічної цінності. Відповідно до аналізу наукових робіт, до суперфудів відносять гранат звичайний, фінік, інжир, авокадо, буряк, листя шафрану та каррі-дерева [2], насіння чіа та кіноа, капуста кале, ягоди годжі, часник [3]. Численні іноземні дослідження підтверджують, що ці продукти мають загальний позитивний вплив на здоров'я людини, а також володіють різними терапевтичними

властивостями, зокрема, можуть бути ефективними у лікуванні депресії, когнітивних розладів та нейродегенеративних захворювань [2-8]. Однак, слід зазначити, що більшість зазначених суперфудів не є традиційними для агрокліматичних умов України та не вирощуються у промислових масштабах на її території. Це зумовлює необхідність їх імпорту, що, у свою чергу, може впливати на стабільність якості продукції, умови транспортування, а також ускладнює контроль за дотриманням вимог до безпечності та збереження біоактивних компонентів. Крім того, імпортні поставки пов'язані з додатковими логістичними витратами, які позначаються на кінцевій вартості продукції та її доступності для споживачів. Тому для нашої держави, яка володіє багатим біорізноманіттям та унікальними природними ресурсами, актуальним є використання саме локальних суперфудів як складової інноваційної моделі продовольчої безпеки.

В Україні вирощують безліч продуктів, які відомі своїми антиоксидантними, імунно-зміцнюючими властивостями, зокрема, гарбуз, гречка, амарант, насіння льону, соняшнику, кунжуту, коноплі, а також ягоди полуниці, ожини, чорниці, обліпихи, малини, яких вже називають суперфудами [9, 10]. Ці продукти не лише багаті на біоактивні компоненти, але й адаптовані до місцевих агрокліматичних умов, що сприяє їхній високій харчовій якості та доступності. Це дозволяє вирощувати їх без значних витрат на імпортні технології чи енергоресурси, а також знижує залежність від зовнішніх постачальників сировини, що, у свою чергу, забезпечує стабільність виробництва в сучасних воєнних кризових умовах.

По-друге, локальні суперфуди зазвичай характеризуються високою біологічною та харчовою цінністю, оскільки містять значну кількість вітамінів, мінералів, антиоксидантів та інших біоактивних компонентів. Їх регулярне споживання сприяє зміцненню здоров'я населення, підвищенню імунного захисту та зниженню ризику розвитку хронічних захворювань, що зменшить навантаження на систему охорони здоров'я та економіку країни загалом.

По-третє, виробництво локальних суперфудів стимулює розвиток регіональної економіки та підтримку місцевих фермерів і виробників. Це дозволяє формувати більш стійкі ланцюги поставок, зменшує втрати під час транспортування і зберігання, а також спрощує контроль за якістю та безпечністю продуктів. Місцеве виробництво дає змогу швидше реагувати на попит і забезпечувати рівномірний розподіл продуктів серед населення.

Слід зауважити, що наразі у світі є популярна концепція Slow Food, метою якої є формування здорових харчових звичок і базується на трьох взаємопов'язаних засадах: чисто, чесно, смачно [11]. Поняття «чисто» передбачає екологічно безпечне виробництво, «чесно» – прозоре і етичне ставлення до споживачів, а «смачно» – застосування натуральних, переважно органічних продуктів. Враховуючи це, використання локальних продуктів буде сприяти підвищенню якості та різноманітности харчування населення, збереженню його фізичного і ментального здоров'я, підтримці місцевих виробників та формуванню стійкої та безпечної продовольчої системи**.**

Висновки. Встановлено, що локальні суперфуди можуть виступати не лише важливим елементом раціону харчування, але й здатні створити умови для стійкості національної продовольчої системи. Крім того, використання продуктів, вирощених в агрокліматичних умовах України, сприятиме розвитку внутрішнього агропродовольчого сектору, що робить їх важливим елементом інноваційної моделі економіки країни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пилипенко, О., Яровий, К., & Мартиненко, О. (2024). Застосування інноваційних бізнес-моделей розвитку підприємства на конкурентних ринках. *Економіка та суспільство*, (70).
2. Kumar, Raghupathi Niranjan, and Haja Nazeer Ahamed. "Superfoods and their impact on brain health: a systematic review." *Discover Food* 5.1 (2025): 1.

3. Ognenoska, V., & Pavlovska, G. (2025). The power of superfoods: unlocking health benefits, nutritional value and sustainable choices. *KNOWLEDGE-International Journal*, *69*(3), 577-580.
4. Batlle-Bayer L., Balcells M., Puig R., Aldaco R., Margallo M. (2023). Superfoods: A super impact on health and the environment? Current Opinion in Environmental Science & Health, 31, 100410.
5. Jagdale, Y.D., Mahale, S.V., Zohra, B., Nayik, G.A., Dar, A.H., Khan, K.A., Abdi, G., Karabagias, I.K. (2021). Nutritional profile and potential health benefits of superfoods: A review. Sustainability, 13(16), 9240.
6. Barsby, J. P., Cowkey M.J., Leemaqz Y.S., Grieger A.J., McKeating R.D., Perkins V.A., Bastian P.E.S., Burton A.R., Bianco-Niotto T. (2021). Nutritional properties of selected superfood extracts and their potential health benefits. PeerJ, 9, e12525
7. Singh, M. P., Soni, K., Bhamra, R., & Mittal, R. K. (2022). Superfood: Value and need. Current Nutrition & Food Science, 18(1), 65–68.
8. Dzulkafley, A. H. (2023). Superfood (Fruits): A review of benefits for weight loss. International Journal of Business and Technology Management, 5(S1), 220–230.
9. Подойнік, Ю. В., М. А. Литвин, and О. М. Горобець. XLV Міжнародної наукової студентської конференції за підсумками науково-дослідних робіт студентів за 2021 рік "Розроблення рецептур з використанням українських супер-фудів." (2022).
10. Лихолат, О. А., Вишнікіна, О. В., & Матухно, О. С. (2023). Українські superfoods: економічні, екологічні, психофізіологічні, гастрокультурні аспекти. Науковий погляд: економіка та управління, № 1 (81).
11. Оболенцева, Л. (2025). Маркетингове дослідження потреб споживачів ресторанних послуг: обґрунтування впровадження концепції “Slow Food”. *Економіка і регіон/Economics and region*, (1 (96)), 114-122.

УДК: 346.26:620.9(100)

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ДЕРЖАВНОЇ ПІДТРИМКИ ІННОВАЦІЙНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СТАРТАПІВ В ІНОЗЕМНИХ ДЕРЖАВАХ

Чуприна А. Т.
НДІ правового забезпечення інноваційного розвитку НАПрН України

Питання правового забезпечення підтримки стартапів у сфері енергетики набуло особливої актуальності у контексті глобального енергетичного переходу та досягнення кліматичної нейтральності. Станом на вересень 2025 року провідні іноземні держави впровадили комплексні інструменти правового та фінансового регулювання, спрямовані на стимулювання інновацій у сфері чистих технологій. Йдеться не лише про прямі форми державної допомоги, але й про податкові стимули, аукціонні механізми, контракти на різницю та інститути «регуляторних пісочниць», що створюють сприятливі умови для тестування бізнес-моделей стартапів.

Метою цієї роботи є дослідження правових аспектів підтримки енергетичних стартапів у ключових іноземних юрисдикціях — Європейському Союзі, США, Великій Британії, Німеччині, Франції та Нідерландах.

В першу чергу розглянемо нормативно-правові засади підтримки енергетичних стартапів у ЄС.

Правове регулювання у Європейському Союзі ґрунтується на поєднанні норм конкурентного права, енергетичної та кліматичної політики. Основою для державної

підтримки є Загальний регламент про блокові винятки (GBER)[1] та Керівні принципи щодо державної допомоги у сфері клімату, захисту довкілля та енергетики від 2022 (CEEAG, 2022/C 80/01)[2]. Вони дозволяють державам-членам надавати гранти, позики, податкові пільги для R&D, зберігання енергії, відновлюваних джерел, водню тощо без необхідності попереднього запиту дозволу Європейської Комісії.

Важливим нововведенням стало ухвалення Регламент (ЄС) 2024/1735 Європейського парламенту та Ради від 13 червня 2024 року про встановлення рамок заходів для посилення екосистеми виробництва технологій з нульовим рівнем викидів у Європі та про внесення змін до Регламенту (ЄС) 2018/1724» («Net-Zero Industry Act»), який передбачає особливий правовий режим для «стратегічних проектів» у сфері чистих технологій. Він містить прискорені дозвільні процедури, спеціальні умови держзакупівель та вимоги до «стійкості ланцюгів постачання», що напряму впливають на стартапи у сфері водню, акумуляторів та ВДЕ[3].

В якості наступного кроку розглянемо правозастосовну практику у США та Великобританії. У США ключовим актом є Закон про зниження інфляції[4] (Inflation Reduction Act, IRA, 2022), що передбачає систему податкових кредитів для виробництва відновлюваної енергії та «чистого водню». Цей Закон передбачає додаткові 40 млрд доларів США у вигляді кредитних повноважень для проєктів, що можуть отримати гарантії за розділом 1703 Закону про енергетичну політику 2005 року. Ці кошти залишаються доступними до 30 вересня 2026 року. Крім того, закон встановлює 3,6 млрд доларів США у формі кредитних субсидій, які покривають витрати на обслуговування цих позик, а частина виділених коштів резервується для адміністративних потреб — зокрема для моніторингу та видачі нових кредитів.

Фінансування поширюється на всі технології, що відповідають вимогам розділу 1703, включаючи викопне паливо та атомну енергетику. Разом із тим, виділені за IRA ресурси забезпечують реалізацію розширених напрямів, передбачених Законом про двопартійну інфраструктуру (BIL), для набуття чинності якого були потрібні нові асигнування. До цих напрямів належать проєкти з переробки, виробництва та повторної обробки критично важливих мінералів, а також відміна вимоги інноваційності щодо проєктів, які фінансує Державний інститут енергетичного фінансування.

Міністерство енергетики США (DOE) адмініструє програми кредитного фінансування. Така багаторівнева правова архітектура дозволяє стартапам поєднувати податкові стимули з прямою державною підтримкою.

У Великій Британії зберігається режим Контракту на різницю цін (Contracts for Difference (CfD) – це приватноправовий контракт між виробником низьковуглецевої електроенергії та компанією Low Carbon Contracts Company (LCCC), державною компанією. CfD стимулює інвестиції у відновлювану енергетику, надаючи розробникам проєктів з високими початковими витратами та тривалим терміном експлуатації прямий захист від коливань оптових цін на електроенергію. Водночас механізм захищає споживачів від підвищення витрат на підтримку, коли ринкові ціни на електроенергію високі.

Генератори з відновлюваних джерел у Великій Британії, які відповідають вимогам відбору, можуть подавати заявки на CfD у формі «закритих пропозицій». До цього часу проведено шість аукціонів, на яких різні технології відновлюваної енергетики змагалися за контракти.

Успішні розробники укладають приватно-правовий контракт із Low Carbon Contracts Company (LCCC), державною компанією. Вони отримують фіксовану індексовану ставку за вироблену електроенергію протягом 15 років. Виплати розраховуються як різниця між «strike price» — ціною на електроенергію, що відображає витрати на інвестування у певну низьковуглецеву технологію, та «reference price» — середньою ринковою ціною на електроенергію у Великій Британії.[5]

Досліджуючи практику держав ЄС звернімося до досвіду Німеччини та Нідерландів.

Німеччина активно впроваджує Угоди про захист клімату (Klimaschutzverträge), які є механізмом субсидування, розробленим для підтримки промислових підприємств з високим рівнем енергоспоживання у їхньому переході до кліматично нейтральних технологій. Це дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу (CO_2). Ця програма, керована Федеральним міністерством економіки та захисту клімату, спрямована на подолання так званого «вуглецевого розриву», що виникає через різницю у вартості між традиційними та екологічно чистими виробничими процесами. Основний принцип реалізації полягає у проведенні аукціонів, де підприємства подають заявки, що містять інформацію про вартість скорочення викидів CO_2. Це забезпечує ефективність програми, оскільки фінансування надається тим проєктам, які забезпечують найбільше скорочення викидів за найменші кошти. Контракти укладаються на довгостроковий період (до 15 років), що гарантує інвестиційну безпеку для компаній і дозволяє їм повернути кошти, вкладені в нові технології, які досі є збитковими. Контракти розроблені таким чином, щоб слугувати «хеджуванням» проти ризиків, пов'язаних з цінами на вуглець. Якщо ціни на викиди CO_2 зростають, держава бере на себе додаткові витрати підприємств. У випадку, якщо інвестиції в «зелені» технології стають прибутковими завдяки зменшенню витрат або зростанню цін на CO_2, підприємство зобов'язане повертати отримані субсидії. Це дозволяє забезпечити підтримку лише в тих випадках, коли вона справді необхідна. Таким чином, кліматичні договори не тільки сприяють досягненню цілей Німеччини щодо захисту клімату, а й підтримують її позицію як провідного промислового та інноваційного центру.[6]

Нідерланди застосовують комплексну систему підтримки: SDE++ (операційна компенсація для скорочення викидів) та конкурсні схеми MOOI і Topsector Energie, орієнтовані на консорціуми за участю стартапів.

Програма SDE++ (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie) є нідерландською урядовою схемою фінансування, спрямованою на стимулювання переходу до екологічно чистої енергетики та скорочення викидів вуглецю. Вона надає гранти на проєкти з виробництва відновлюваної енергії та технології, що дозволяють зменшити викиди CO_2. SDE++ компенсує «неприбуткову складову» проєкту, що є різницею між витратами на виробництво та ринковою вартістю виробленої продукції (наприклад, електроенергії чи газу). Субсидії надаються на 12 або 15 років, що гарантує фінансову стабільність для інвесторів. Субсидія розраховується як різниця між фіксованою базовою ставкою (максимальною ціною технології) та змінною коригуючою сумою, що залежить від поточної ринкової вартості енергії або CO_2. Це забезпечує надання субсидій лише тоді, коли вони справді необхідні. Заявки на фінансування розглядаються за принципом «хто перший, той і обслуговується», але якщо бюджет вичерпується, пріоритет надається проєктам, які забезпечують найбільше скорочення викидів за найменшу ціну.[7]

Узагальнюючи досвід різних держав, можна виокремити кілька правових механізмів:

1. Податкові стимули (США — IRA).
2. Пряме фінансування (гранти, фонди, аукціони) (ЄС — Innovation Fund).
3. Контракти на різницю (CfD, Carbon CfD) (Велика Британія, Німеччина).
4. Операційні схеми субсидування (Нідерланди — SDE++).
5. Регуляторні пісочниці (Велика Британія — Ofgem).

Ці інструменти мають правову основу у відповідних законодавчих актах або регуляторних рішеннях, що гарантує їхню легітимність і передбачуваність.

Найважливішою тенденцією останніх років є інституціоналізація індустріальної політики у сфері чистої енергетики. Усі юрисдикції встановлюють жорсткі вимоги до «екологічної умовності» допомоги (недопущення надмірної компенсації).

Таким чином, правові стратегії стартапів мають охоплювати не лише корпоративно-правові аспекти, але й комплаєнс із вимогами державної допомоги, екологічними критеріями та локалізаційними умовами.

Таким чином, правові аспекти підтримки стартапів у сфері енергетики у провідних іноземних державах демонструють поступ від класичних інструментів субсидування до комплексних індустріально-кліматичних програм. ЄС формує «коридор правової певності» через GBER та CEEAG, водночас розвиваючи попит-орієнтовані інструменти (Hydrogen Bank). США пропонують найпотужніший податково-кредитний пакет (IRA + DOE LPO). Велика Британія та Німеччина — приклади стабільних контрактних моделей (CfD, Carbon CfD). В усіх випадках ключовим правовим викликом стає баланс між стимулюванням інновацій і дотриманням принципів добросовісної конкуренції та екологічності енергетичних систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Commission Regulation (EU) No 651/2014 declaring certain categories of aid compatible with the internal market in application of Articles 107 and 108 of the Treaty. URL: https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/general-block-exemption-regulation.html

2. Communication from the Commission – Guidelines on State aid for climate, environmental protection and energy 2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=oj:JOC_2022_080_R_0001

3. Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem and amending Regulation (EU) 2018/1724. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1735/oj/eng

4. Inflation Reduction Act (IRA) of 2022. URL: https://www.energy.gov/lpo/inflation-reduction-act-2022

5. Contracts for Difference. Department for Energy Security and Net Zero. URL: https://www.gov.uk/government/collections/contracts-for-difference

6. Klimaschutzverträge erklärt. Bundesministerium Für Wirtschaft Und Energie. URL: https://www.klimaschutzvertraege.info/thema/allgemeine_informationen_ksv

7. SDE++: Features. Netherlands Enterprise Agency. URL: https://english.rvo.nl/subsidies-financing/sde/features

УДК 655.001: 001.89

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМНИЦЬКИХ ЕКОСИСТЕМ У ПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ

Штефан Є.В.
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»

Актуальність. Забезпечення економічного зростання промислового комплексу України у значній мірі визначається розробленням та впровадженням інноваційних моделей розвитку економіки, особливо, в умовах воєнних викликів і повоєнного відновлення України. Дослідження, що присвячені створенню модельних парадигм у галузі розвитку швидкозростаючих ефективних промислових підприємств свідчать [1] :

1. Таки підприємства забезпечують зростання продуктивності виробничих процесів за рахунок збільшення інновацій та ефективного об'єднання зусиль різних груп стейкхолдерів.
2. Необхідно створювати підприємницькі екосистеми оскільки формальне створення

сприятливих умов розвитку економіки є неефективним.

3. Існуючі концепції інноваційних екосистем в Україні мають вигляд сукупності відносно схожих, але досить різнорідних елементів.
4. Незважаючи на певні досягнення вітчизняних науковців у розробці теоретичних положень та рекомендацій щодо створення підприємницьких екосистем, практичної адаптації інноваційної політики на рівні регіонів України немає.
5. Методологія формування підприємницькі екосистеми як основ української економіки практично не розглядається.
6. Не існує наукового обґрунтування «екорівня» промислового середовища та не наведено методів кількісної оцінки відповідної «екологічності» інноваційних та підприємницьких систем.

У нормативних документах, щодо визначення стратегічних напрямків розвитку інноваційної діяльності в Україні пропонується певні заходи для подолання кризових явищ та зростання продуктивності підприємництва. Однак поняття підприємницької екосистеми, що є, певною мірою, новим для фахової спільноти країни, у таких документах не використовується. Крім того, для існуючих форм інфраструктур різного функціонального призначення не існує науково - обґрунтованих методів їх проектування та будови. Таким чином, створення теоретичної бази для наукового обґрунтування будови екосистем (інноваційних, підприємницьких, стартапів) в Україні знаходиться на початковому рівні. Тому у сучасних умовах є актуальною проєктна ідея розроблення та реалізація науково-методологічних основ створення раціональної будови екосистем різної проблемної орієнтації.

Методологія та модельні представлення. Ефективність інноваційної діяльності у значній ступені залежить від особливостей дослідницького середовища у якому створюється та виконується відповідний науковий проект. Концепція створення підприємницької екосистеми дозволяє створювати дослідницькі та інноваційні середовища для «пророщування» інноваційних ідей з подальшим «вирощуванням» стартапів до рівня життєздатних та продуктивних суб'єктів підприємництва з поступовим збільшенням їх доходів та персоналу [2]. Університети у екосистемах забезпечують залучення талановитої молоді, набуття майбутніми та діючими підприємцями знань і компетентностей, створюють корисні прикладні розробки, а також здійснюють заходи із започаткування та підтримки інноваційних підрозділів [3].

Запропоновано модельні аспекти ключових процедур об'єднання державних і приватних організацій у межах місцевого, національного чи міжнародний масштабу з метою створення інноваційних екосистем [4]. Для побудови структури екосистеми пропонується принцип ХАБу (від англ. Hub — «маточина»). Цей принцип у поєднанні з концепцією екосистеми дозволяє забезпечити ефективне поєднання дослідницьких, виробничих та бізнес організацій різного рівня з набором компетенцій, що відповідають інноваційній ідеї. Розроблена математична модель процесу поєднання дослідницьких, виробничих та бізнес організацій різного рівня на основі принципу ХАБу [5]. Модель враховує параметри, що описують функціонування структурних елементів екосистеми (стейкхолдерів) та набір компетенцій, що відповідають інноваційній ідеї. Кожен елемент майбутнього наукового середовища (стартапи, дослідники, наукові та промислові установи, міністерства та відомства, консорціуми та ін..) представляємо у вигляді умовних кіл з відповідним набором компетенцій (●) орієнтованих на вирішення поставленої інноваційної проблеми (рис. 1).

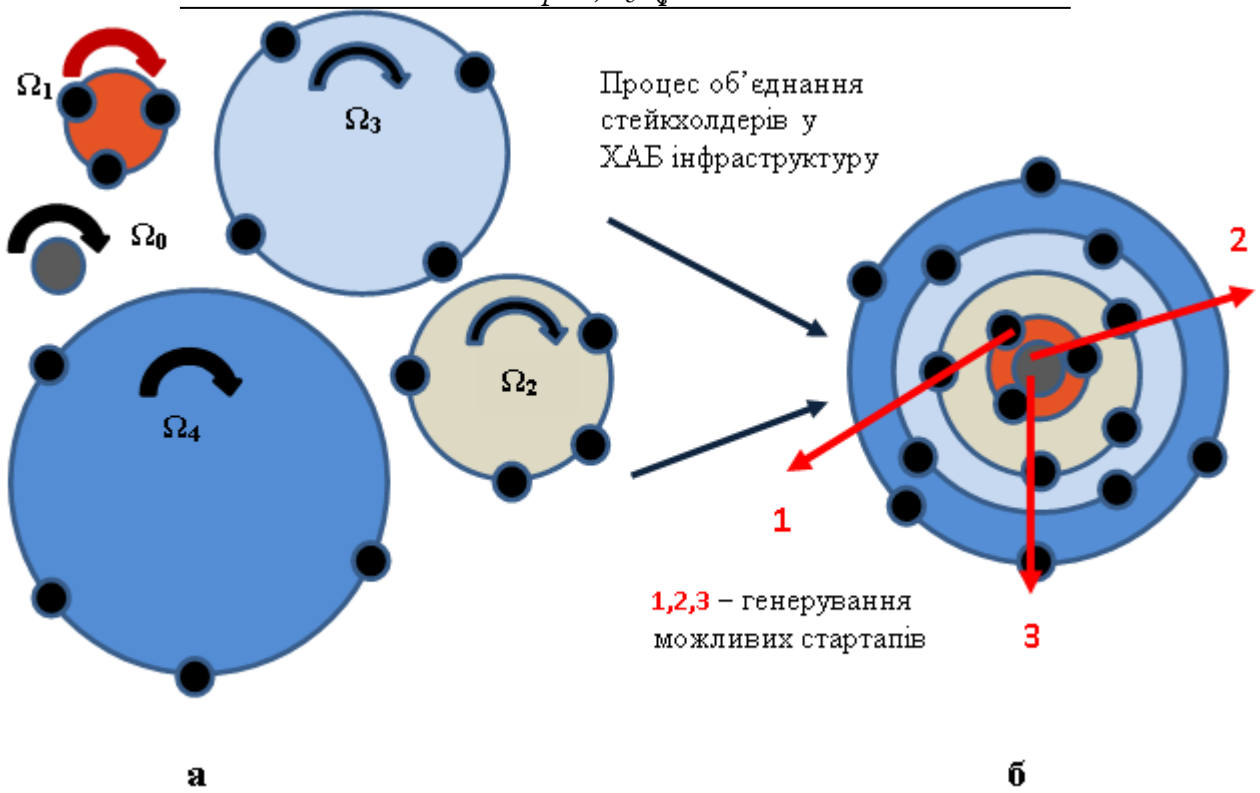


Рис.1. Схема процесу створення моделі ХАБ інфраструктури інноваційного проєкту: а – окремі елементи проектного середовища (стейкхолдери); б – ХАБ інраструктура та можливі варіанти генерування стартапів

Для наукового обґрунтування «еко» рівня підприємства використовується концепція аналізу енергетичних потоків у межах прийнятого варіанту екосистеми. На основі базових положень технічної термодинаміки запропоновано узагальнений «еко» критерій, що дозволяє кількісно оцінити умовний еквівалент «розсіяння енергії» під час взаємодії різних груп стейкхолдерів у межах прийнятої моделі підприємницької екосистеми.

Висновки

1. Запропоновані універсальні модельні представлення доцільно використовувати для аналізу динамічної поведінки підприємницької ХАБ – екосистеми. Така модель може бути покладена в основу при розроблення методів створення раціонального проектного середовища у формі ХАБу, що забезпечить «вирощування» стартапів навколо відповідної інноваційної ідеї.
2. Представлені результати покладені в основу інноваційної парадигми створення інфраструктури підприємницьких екосистем різного технічного призначення.

ЛІТЕРАТУРА

12. Коломицева О.В., Порев С.М. Підприємницькі екосистеми, університети і українська інноваційна політика // Збірник наукових праць ЧДТУЗбірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки, [S.l.], n. 51, dec. 2018., с.5-11. ISSN 2306-4420.

13. Shtefan Ye., Kolomiiets A. Engineering and technical facilities of information exchange innovative ecosystems creating / Science and society: trends of interaction : collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. 271 p.- p.204-217. ISBN 979-8-9866959-4-5 Available at: DOI : 10.51587/9798-9866-95945-2023-012

14. Штефан Є.В. Особливості управління науковими проектами в машинобудуванні / Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. індустрія 4.0. сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях», Суми, 22-26 травня 2017 р.с.42-44 .

15. Штефан Є.В. Методи цифрового управління поліграфічними процесами /Є.В.Штефан, Т.А. Роїк, О.В. Зоренко, О. П. Шостачук // Технологія і техніка друкарства. — 2021. — № 2(72). — С. 54–63. https://DOI.org/ 10.20535/2077-7264.2 (72).2021.242474

16. Shtefan Ye. Modeling of research hub – infrastructure creation for innovative projects //First international conference “OPEN SCIENCE AND INNOVATION IN UKRAINE 2022” : Proceedings, October 27-28, 2022. / Ministry of Education and Science of Ukraine; State Scientific and Technical Library of Ukraine. – Kiev : Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information, 2022. http://doi.org/10.35668/978-966-479-129-5

УДК 005.322:658.14

БІЗНЕС-КОНСАЛТИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙ

Лепетан І.М.
Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова

У сучасних умовах швидких технологічних змін, глобальної конкуренції та невизначеності ринкового середовища організації стикаються з необхідністю постійного оновлення власних бізнес-процесів, розробки нових продуктів і послуг, а також впровадження інноваційних управлінських рішень. Високий темп змін змушує підприємства не лише адаптуватися до зовнішніх викликів, а й активно формувати інноваційну стратегію розвитку, здатну забезпечити стійке конкурентне лідерство.

Бізнес-консалтинг у цьому контексті виступає ключовим інструментом підтримки організацій, оскільки надає експертну допомогу у виявленні слабких місць, оптимізації процесів, розвитку інноваційної культури та інтеграції сучасних технологій. Він дозволяє підприємствам скоротити час впровадження нововведень, підвищити ефективність управлінських рішень та зменшити ризики, пов’язані з реалізацією інноваційних проектів.

Особливої актуальності тема набуває для організацій, що прагнуть забезпечити стійке зростання та адаптивність у динамічному бізнес-середовищі. Впровадження ефективних консалтингових практик дозволяє формувати стратегічні конкурентні переваги, сприяє розвитку внутрішніх інноваційних ресурсів та зміцнює позиції організацій на ринку.

Бізнес-консалтинг – це професійна діяльність, спрямована на надання організаціям експертної допомоги у сфері управління, стратегічного планування, оптимізації процесів і розвитку інновацій. Консультанти виконують роль зовнішніх експертів, що забезпечують об’єктивну оцінку діяльності організації та пропонують шляхи підвищення її ефективності.

Сьогодні управлінське консультування користується високим попитом у всіх сферах економіки, що свідчить про його значний потенціал у підвищенні ефективності діяльності компаній різного профілю, напрямів та масштабу.

До ключових факторів стрімкого розвитку консалтингових послуг і зростання попиту на них у світовому масштабі належать:

– глобалізація бізнесу, яка однаково стимулює потребу в консалтингових послугах як для транснаціональних корпорацій, що виходять на нові ринки, так і для молодих компаній, що прагнуть закріпитися на міжнародній арені;

– можливість використання ідей та компетенцій консультанта як джерела конкурентної переваги у ринковій боротьбі;

– необхідність впровадження сучасних інформаційних технологій, що істотно підвищують продуктивність та ефективність компанії [1].

Найбільш популярними та розвиненими в Україні на сьогодні є такі основні напрямки бізнес-консалтингу:

1. Управлінське консультування – включає послуги з питань загального управління, серед яких розробка стратегії, маркетингові дослідження, управління виробничими процесами, трудовими ресурсами та збутом, забезпечення екології та безпеки праці, формування структури управління та аналіз ринку.

2. Фінансове консультування – охоплює послуги з бухгалтерського обліку та аудиту, оцінки майна, бізнесу та ризиків, управління майновими та немайновими правами, операцій з цінними паперами, розробки фінансової стратегії, оцінки фінансових результатів діяльності, управління фондами та інвестиціями, оптимізації витрат і системи фінансового обліку, а також розрахунку ефективності окремих проєктів [2, 3].

3. Юридичне консультування – надає послуги з питань оподаткування, створення, реорганізації та реєстрації підприємств, зовнішньоекономічної діяльності, ліцензування та патентування, а також вирішення питань повернення боргів, банкрутства та інших юридичних аспектів діяльності компаній.

Основні функції бізнес-консалтингу включають:

– аналіз інноваційного потенціалу – оцінка ресурсів, компетенцій та процесів організації, що впливають на здатність створювати нові продукти й послуги;

– стратегічне планування інновацій – формування дорожніх карт інновацій, визначення пріоритетів та управління портфелем проектів;

– оптимізація бізнес-процесів – впровадження процесних моделей і сучасних технологій управління для прискорення генерації та реалізації ідей;

– формування інноваційної культури – створення сприятливого середовища для креативності та командної роботи;

– впровадження цифрових технологій – інтеграція аналітичних та інформаційних систем для підвищення ефективності інноваційних процесів.

Бізнес-консалтинг виступає потужним інструментом підвищення інноваційної спроможності організацій, впливаючи на різні аспекти їх діяльності [4].

Консультанти надають організаціям доступ до комплексної аналітичної інформації, яка включає ринкові тенденції, конкурентне середовище, технологічні інновації та прогнози розвитку галузі. Це дозволяє керівництву приймати обґрунтовані стратегічні рішення, своєчасно виявляти нові можливості для інновацій і коригувати власні бізнес-процеси. Інтелектуальна підтримка також включає аналіз передових практик та успішних кейсів у міжнародних компаніях, що допомагає формувати власні стандарти інноваційної діяльності.

Бізнес-консалтинг сприяє підвищенню кваліфікації управлінців і фахівців шляхом навчання сучасним методам інноваційного менеджменту, проектного управління та стратегічного планування. Формування відповідних компетенцій забезпечує здатність персоналу генерувати нові ідеї, ефективно реалізовувати інноваційні проекти та управляти ризиками. Крім того, консультанти допомагають розвивати лідерські якості та навички командної роботи, що є критично важливим для створення сприятливого інноваційного середовища в організації.

Запровадження інновацій часто пов’язане зі значними трансформаціями бізнес-процесів і структурними змінами в організації. Консалтинг допомагає планувати і координувати ці зміни, розробляти ефективні стратегії управління трансформаціями, а також долати опір персоналу нововведенням. Такий супровід включає визначення критичних точок впровадження змін, розробку комунікаційних стратегій, мотиваційних програм та методів підтримки персоналу в процесі адаптації.

Консультанти здійснюють комплексну оцінку інноваційних проектів, визначаючи ключові показники ефективності (KPI), аналізуючи ризики та пропонуючи оптимізацію використання ресурсів. Це дозволяє організації приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності реалізації конкретних проектів, розподілу фінансових і матеріальних ресурсів та пріоритезації інноваційних ініціатив. Крім того, оцінка ефективності сприяє підвищенню прозорості процесів і контролю результатів, що позитивно впливає на загальну інноваційну спроможність організації.

Висновки. Бізнес-консалтинг виступає важливим інструментом підвищення інноваційної спроможності організацій, поєднуючи стратегічну підтримку, розвиток компетенцій персоналу, супровід трансформаційних процесів та оцінку ефективності інноваційних проектів. Його застосування дозволяє організаціям системно аналізувати внутрішні ресурси, адаптуватися до швидко змінюваного ринкового середовища, інтегрувати сучасні технології та створювати сприятливу інноваційну культуру.

Завдяки консалтинговим послугам підприємства отримують можливість скоротити час впровадження нововведень, мінімізувати ризики і підвищити рентабельність інноваційних ініціатив. Таким чином, бізнес-консалтинг не лише сприяє покращенню поточної результативності організації, а й стає стратегічним механізмом формування довгострокових конкурентних переваг та забезпечення сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Єфремова Л. Бізнес-консалтинг як інструмент ефективного функціонування підприємства. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Економічний розвиток і спадщина Семена Кузнеця»: тези доповідей, 31 травня – 1 червня 2018 р. Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2018. С. 55-56. URL: https://www.skced.hneu.edu.ua/files/tez_konferencii_simon_kuznets_14_05_18.pdf#page=55

2. Лепетан І.М., Гайворонюк О.О. Основні елементи системи управління витратами підприємства. *Ефективна економіка*. 2024. № 2. URL: https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/issue/view/131 DOI: 10.32702/2307-2105.2024.2.69

3. Лепетан І.М. Організація діловодства в управлінській діяльності підприємства. *Економіка та суспільство*. 2022. № 39. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1389 DOI: 10.32782/2524-0072/2022-39-49

4. Лепетан І.М. Облікове забезпечення управління інноваційною діяльністю підприємств. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. № 3 (61). С. 123-136

УДК 330.322.014:412-026.16

ЗЕЛЕНІ ІНВЕСТИЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ У ЗВІТАХ ЗІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ[1]

Внукова Н.М.
НДІ правового забезпечення інноваційного розвитку НАПрНУ
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Вступ. Кабінет Міністрів України 25 червня 2025 року схвалив проєкт змін до Закону України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні». Головна новація - запровадження обов'язкової звітності зі сталого розвитку для різних підприємств, що є важливим кроком до євроінтеграції та підвищення прозорості бізнесу. Така звітність міститиме інформацію про вплив компанії на екологію та інші сфери діяльності, а також про те, як ці питання впливають на діяльність підприємства.

[1] **Дослідження виконано за НДР «"Інноваційні напрями розвитку екологічного права в умовах подолання наслідків російської агресії в Україні"**

Інформація про сталий розвиток подаватиметься за Європейськими стандартами (ESRS) у вигляді окремого розділу звіту з управління [2].

Виклад. Враховуючи, що починаючи з березня 2007 року Vodafone Україна є частиною мережі Глобального Договору ООН, тому з року в рік підтверджуючи свої зобов'язання щодо сталого ведення бізнесу та відповідального ставлення до навколишнього природного середовища, Група Vodafone Україна відповідально з 2020 року складає Щорічні звіти зі сталого розвитку [0]. У ньому відсутній термін «зелений» у будь-якому контексті, більше мова йде про природоохоронні заходи, ставлення до довкілля. Група приділяє значну увагу попередженню та мінімізації негативного впливу на навколишнє природнє середовище, і розвиває цінності раціонального використання ресурсів Цей звіт висвітлює інформацію про цінності та стратегію Vodafone Україна в сфері сталого розвитку, підхід компанії до управління екологічними та соціальними аспектами своєї діяльності. Він містить опис результатів діяльності компанії в сфері використання природних ресурсів, реалізації інфраструктурних проектів, а також планів на майбутні періоди в цих сферах. Розглядаючи ставлення до навколишнього середовища, бізнес Групи є екологічно чистим. Вона дбайливо й відповідально ставиться до довкілля, прагне раціонально та заощадливо використовувати ресурси, схвалюється екологічна поведінка співробітників і всіляко відбувається сприяння формуванню екологічної свідомості в суспільстві. Наведені показники впливу на довкілля.

Група відзначає свої досягнення у сфері поширення цифрових технологій, які сприяють скороченню використання природних ресурсів. Це також дає можливість налагодити сучасну систему контролю за використанням ресурсів в інших галузях за допомогою таких технологій як NBIoT [1]. У межах розвитку концепції Smart City розроблено перелік Smart Metering рішень щодо розумного обліку води, газу, тепла на базі сучасної мережі NBIoT. Ці рішення допомагають економити кошти як приватним споживачам, так і компаніям та комунальним установам. Вони також сприяють енергозбереженню та раціональному використанню природних ресурсів, що має позитивний ефект для довкілля. У наступному Щорічному звіті (2022) відзначено, що за період 2020-2021 рр. база IoT-підключень зросла на 79%, а база клієнтів IoT Vodafone збільшилась на 73% [0].

У Щорічному звіті 2022 року з'явились зелені ініціативи Vodafone Україна, яка пропагує дружні до довкілля звички серед своїх співробітників та підтримує «зелені» ініціативи в офісах. Окремий розділ присвячений поводженню з відходами. У Vodafone Україна відповідально ставляться до поводження з відходами та спрямовують свої зусилля для їх мінімізації. Група керується законодавчими нормами та внутрішніми правилами щодо поводження з відходами та вибору постачальників послуг з їх утилізації всіх класів небезпеки та передачею використаних батарейок на переробний завод. З метою ощадливого використання природніх ресурсів в компанії впровадили електронний документообіг. У Щорічному звіті зі сталого розвитку 2023 року надано звітну інформацію щодо збору та утилізації відходів: зібрано близько 91,56 т, серед яких утилізовано: 1,12 т – відходи 1-го класу небезпеки; 57,15 т – 2-го класу небезпеки; 0,08 т – гумових відходів 3-го класу небезпеки; 33,21 т – 4-го класу небезпеки. Отже, такий перелік демонструє відповідальне ставлення Групи до облікових процедур поводження з відходами.

Окремим довоєнним проєктом 2021 року був підписаний меморандум про співпрацю разом з Громадською організацією «Аеророзвідка» та Чорнобильським радіаційно-екологічним біосферним заповідником за підтримки Державного агентства з управління зоною відчуження. На території заповідника запрацювала система природоохоронного моніторингу, яка дає можливість компетентним службам оперативно реагувати на події, які виникають на території заповідника, а науковці отримали нові інструменти для вивчення рослинного і тваринного світу.

У Щорічному звіті 2023 року відсутній термін «зелені», але визначено напрям корпоративної політики як благодійні, соціальні, освітні та екологічні ініціативи. Група спрямовує працівників використовувати усі наявні дружні до довкілля рішення й енергоефективні технології, які впроваджені в офісах. Vodafone Україна схвалює екологічну поведінку співробітників, та прагне формувати екологічну свідомість у суспільстві. Окремий розділ Щорічного звіту зі сталого розвитку присвячений Зміні клімату та викидів в атмосферу. Група визнала збільшення викидів парникових газів та забруднюючих речовин в атмосферу. Прямі викиди парникових газів (Scope 1) становили 3,69 тис. т CO2-еквіваленту 2023 року, що на 2% більше за показник попереднього року (3,62 тис. т CO2-еквіваленту). Зростання пояснюється приєднанням до Групи дочірньої компанії ТОВ «Фрінет».

«Зелена» складова знову з'явилась у щорічному звіті 2024 року. Група Vodafone Україна підтримує «зелені» ініціативи в офісах: збір батарейок у спеціальні контейнери, мінімізація використання в офісах пластику та паперу. Протягом 2024 року продовжена практика підвищення обізнаності працівників з питаннями управління відходами та правилами роздільного сортування сміття, зокрема шляхом організації різноманітних акцій та тематичних подій. Також у внутрішній корпоративній мережі ПРОСТОР розміщено інтернет-сторінку «Go green», яка включає інформацію про утилізацію відходів [1]. Екологічні переваги ("Go-Green"): спеціальні пропозиції та програми, які можуть включати використання менш шкідливих для довкілля технологій, можливість зменшення викидів вуглецю, пов'язаних з діяльністю компанії, підтримку екологічних ініціатив.

Телекомунікаційні та аналітичні рішення Vodafone Україна підтримують глобальні тренди сталого розвитку, сприяючи відповідальному виробництву, споживанню відновлюваної енергії та раціональному використанню природних ресурсів. Одним із важливих пріоритетів є екологічна відповідальність. Vodafone впроваджує енергоефективні технології, знижуючи споживання електроенергії та викиди CO2 .

2024 року реалізовано пілотний проєкт із використання сонячних електростанцій для забезпечення резервного живлення базових станцій.

Висновки. Встановлено, що велика Група Vodafone Україна, починаючи з 2020 року надає Щорічні звіти зі сталого розвитку. Їх аналіз щодо питань екології, впливу на довкілля, природоохоронних заходів, зелених ініціатив, наведених у звітах, довів, що компанія приділяє увагу цим питанням, формує певний перелік заходів із підтримки зелених ініціатив співробітників, розробляє пакет напрямів для поводження з відходами, сприяє залученості клієнтів у різні облікові процеси щодо збереження довкілля, зниження кліматичних ризиків. На прикладі окремої компанії показано, що «зелені» інвестиції є можливими для відновлення України, вони передбачені вимогами до корпоративної відповідності підприємств в ЄС і активно впроваджуються в їх діяльність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Екосвідомість — один з напрямків корпоративних програм розвитку для спільноти Vodafone Україна URL: https://career.vodafone.ua/news/ekosvidomist-odin-z-napryamkiv-korporativnix-program-rozvitku-dlya-spilnoti-vodafone-ukrayina-56

2. Уряд схвалив зміни до Закону про бухгалтерський облік URL: https://mof.gov.ua/uk/news/uriad_skhvaliv_zmini_do_zakonu_pro_bukhgalterskii_oblik_shcho_zminitsia_dlia_biznesu-5212

Щорічні звіти зі сталого розвитку (2020-2024) Vodafone Україна URL: https://www.vodafone.ua/company/investors/zvit-zi-stalogo-rozvitku…..

УДК 005.21.58.8:005.961

СТРАТЕГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ І МАРКЕТИНГ У СИСТЕМІ БІЗНЕС КОНСАЛТИНГУ

Паламаренко Я.В.
Вінницький національний медичний університетт ім. М.І. Пирогова

Стратегічний менеджмент і маркетинг у системі бізнес консалтингу посідають ключове місце у формуванні сучасних моделей розвитку підприємств, що діють у середовищі високої конкуренції та глобальної інтеграції. Актуальність теми зумовлена тим, що в умовах швидкої трансформації ринкових відносин та зростання динаміки зовнішнього середовища бізнес структури потребують не лише інструментів поточного управління, а й глибоких стратегічних рішень, здатних забезпечити довгострокову стабільність, конкурентоспроможність і стійкість. При цьому бізнес консалтинг у цьому розумінні постає не як допоміжна послуга, а як комплексна система підтримки управлінських процесів, яка поєднує аналітику, стратегічне планування, комунікацію із зовнішнім середовищем та адаптацію підприємства до нових викликів.

Постановка проблеми полягає в необхідності визначення взаємозв'язку між стратегічним менеджментом і маркетингом у межах консалтингових практик, адже саме інтеграція цих елементів створює базис для підвищення ефективності управління підприємством. Відповідно завданням дослідження є з'ясування ролі стратегічного менеджменту у формуванні стратегічних цілей та визначення того, яким чином маркетингова складова може трансформувати ці цілі в реальні конкурентні переваги.

Проведений аналіз наукової літератури показав, що стратегічний менеджмент і маркетинг у системі бізнес консалтингу є одним із ключових чинників забезпечення конкурентоспроможності підприємств в умовах глобалізації та цифрової трансформації. Сучасні компанії стикаються з високим рівнем невизначеності, динамікою змін у споживчих уподобаннях та зростанням інтенсивності конкуренції, що зумовлює необхідність переосмислення підходів до управління. При цьому важливим є не лише розроблення стратегічних орієнтирів розвитку підприємства, а й формування системи комунікаційного та маркетингового забезпечення, що дозволяє своєчасно реагувати на зовнішні виклики. Саме консалтинг у сфері стратегічного менеджменту й маркетингу стає інструментом підвищення ефективності управління, спрямованим на інтеграцію теоретичних концепцій та практичних рішень, адаптованих до специфіки конкретної компанії. У даному напрямку особливу увагу необхідно приділити комунікаційному менеджменту, який є складовою стратегічного управління та сприяє налагодженню ефективної взаємодії як у внутрішньому, так і у зовнішньому середовищі організації. У сучасних умовах він визначає здатність підприємства не лише транслювати стратегічні цілі, але й адаптувати їх до потреб співробітників та партнерів, створюючи прозорі канали обміну інформацією [1, с. 31-38]. Такий підхід підвищує рівень узгодженості дій на всіх управлінських рівнях і забезпечує стійкість до ризиків. У середовищі маркетингового консалтингу ключовим завданням стає формування цілісної системи підтримки управлінських рішень, яка поєднує ринкову аналітику, сегментацію, позиціонування, розробку бренду та інструменти цифрової комунікації. У свою чергу маркетинговий консалтинг, як підсистема бізнес-консалтингу, допомагає підприємствам не лише зрозуміти закономірності поведінки споживачів, а й трансформувати ці знання у практичні конкурентні переваги. Саме це дозволяє формувати стратегії, що базуються на

глибокому розумінні ринку й водночас узгоджуються з довгостроковими стратегічними пріоритетами організації [2, с. 7-13; 3, с. 33-40].

Ще однією складовою консалтингової підтримки виступає оцінювання рівня стратегічного розвитку підприємства. Використання сучасних підходів до діагностики дозволяє об'єктивно визначити позиції компанії на ринку, рівень реалізації стратегічних орієнтирів та потенціал для подальшого зростання. Такі методики створюють основу для вибору ефективних управлінських рішень і забезпечують зворотний зв'язок між розробкою стратегії та її практичною реалізацією [4]. У цьому напрямку роль консалтингових компаній полягає у створенні прозорої системи моніторингу та прогнозування, що підвищує обґрунтованість прийнятих рішень.

Таким чином, стратегічний менеджмент і маркетинг у системі бізнес консалтингу функціонують як взаємопов'язані складові, що визначають довгостроковий розвиток підприємства. Їх синергія дозволяє забезпечити гармонійне поєднання стратегічних орієнтирів із реальними потребами ринку, створює основу для підвищення конкурентоспроможності та формування стійких бізнес-моделей. У цьому полягає не лише практична цінність консалтингу, а й його стратегічна роль у формуванні сучасних підходів до управління підприємствами в умовах глобальних викликів.

Відповідно, сутність стратегічного менеджменту в системі бізнес консалтингу полягає у формуванні довгострокового бачення розвитку підприємства, яке спирається на аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища, оцінку ресурсного потенціалу та вибір оптимальних стратегій. Консалтингова підтримка у сфері стратегічного менеджменту орієнтується на визначення місії, постановку цілей, розробку сценаріїв розвитку, побудову системи контролю та корекції управлінських рішень. У цьому розумінні консалтинг стає інструментом передачі сучасних управлінських технологій, адаптованих до специфіки підприємства, його ринку та галузі. Пр цьому особлива увага приділяється процесам антикризового управління, управління змінами, інноваційного розвитку та цифрової трансформації бізнесу, які є невід'ємними складовими стратегічних підходів у сучасних умовах [5, с. 134].

Зазначимо, що маркетинг у системі бізнес консалтингу має не менш важливе значення, оскільки саме він формує систему знань про споживача, ринок, конкурентів та тренди, що дозволяє приймати зважені управлінські рішення. У межах консалтингових практик маркетинг виступає як аналітичний і водночас комунікаційний інструмент, що забезпечує формування цінності продукту чи послуги для кінцевого споживача. Консультанти з маркетингу надають підприємствам можливість побудови ефективних стратегій просування, сегментації ринку, позиціонування бренду, створення лояльності клієнтів, використання сучасних цифрових інструментів комунікації. Особливої ваги набувають методи цифрового маркетингу, big data-аналітики та CRM-систем, які дозволяють інтегрувати споживацькі уподобання у стратегічні рішення компанії.

Взаємозв'язок стратегічного менеджменту і маркетингу в системі бізнес консалтингу полягає в тому, що стратегія розвитку підприємства без маркетингової складової втрачає свою адаптивність і здатність реагувати на потреби ринку, а маркетинг без стратегічної орієнтації зводиться до тактичних дій, що не гарантують довгострокового результату. Тому інтеграція стратегічного менеджменту і маркетингу дозволяє створити цілісну модель управління, в якій визначення довгострокових орієнтирів поєднується з чітким розумінням споживача, конкурентних переваг та ринкових тенденцій. Консалтинг у такій моделі відіграє роль каталізатора, що забезпечує узгодження управлінських рішень і ринкових реалій, підвищує гнучкість та інноваційність підприємств [6, с. 51; 7, с. 117].

Важаємо, що важливою складовою є й те, що консалтинг сприяє розвитку корпоративної культури стратегічного мислення та клієнтоорієнтованості. Він формує середовище, у якому управлінці здатні не лише приймати рішення, але й бачити їх у довгостроковій перспективі, оцінювати вплив на ринкові позиції та імідж підприємства. З іншого боку, маркетингова складова дозволяє реалізувати принципи соціальної

відповідальності бізнесу, формувати позитивний бренд і будувати довіру з боку суспільства, що в сучасних умовах є не менш важливим, ніж фінансові показники.

Висновки. Таким чином, стратегічний менеджмент і маркетинг у системі бізнес консалтингу є взаємодоповнюючими елементами, які створюють підґрунтя для сталого розвитку підприємств. Їх інтеграція дозволяє сформувати комплексний підхід до управління, що поєднує довгострокове бачення з практичною реалізацією через ринкові інструменти. Це сприяє не лише підвищенню конкурентоспроможності окремих компаній, а й розвитку ринкового середовища загалом, що робить бізнес консалтинг стратегічним ресурсом економіки в умовах глобалізації та цифрових трансформацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Головчук Ю.О., Паламаренко Я. В., Лепетан І.М. Комунікаційний менеджмент як складова стратегічного управління організацією. *Інвестиції: практика та досвід.* 2025. №13. С. 31-38. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.13.31

2. Головчук Ю.О., Карачина Н.П., Ночвіна О.А. Роль маркетингового консалтингу в системі бізнес-консалтингових послуг. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 11. С. 7-13. DOI: 10.32702/2306-6814.2025.11.7

3. Головчук Ю. О., Паламаренко Я. В., Лепетан І. М. Операційний менеджмент як інструмент реалізації стратегічного управління. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 15. С. 33-40. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.15.33

4. Паламаренко Я.В. Сучасні підходи до оцінювання рівня стратегічного розвитку підприємства. Ефективна економіка. 2020. № 5. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/5_2020/82

5. Маркова С. В., Головань О., Пучков О. Вплив маркетингу, менеджменту та обліку на стратегічне управління потенціалом підприємства в різних сферах бізнесу. *Галицький економічний вісник.* 2025. № 1 (92). С. 133-141. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2025.01

6. Шевченко Л. С. Стратегічний консалтинг: теорія, практика, бізнес-індустрія. *Економічна теорія та право.* 2019. № 2 (37). С. 48-66. DOI: https://doi.org/10.31359/2411-5584-2019-37-2-48

Филюк Г., Притула І. Розвиток ринку консалтингових послуг в Україні в умовах сучасних викликів. *Економічний аналіз.* 2024. Том 34. № 1. С. 115-125. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.01.115

УДК 004.451+338.45+655.17

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПРОГРАМНИХ СЕРВІСІВ РОЗРАХУНКУ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ПОЛІГРАФІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Долінський В.О.
Національний університет «Львівська політехніка»

Сучасний розвиток поліграфічної галузі визначається зростаючою потребою у цифровізації виробничих процесів, що зумовлює необхідність інтеграції інформаційних технологій і сервісів у сферу експлуатації та обслуговування друкарського обладнання. Використання цифрових рішень дозволяє здійснювати оперативний моніторинг технічного стану машин, прогнозувати можливі відмови, оптимізувати витрати на технічне обслуговування і забезпечувати високу стабільність виробничих показників.

Інформаційні сервіси сприяють підвищенню ефективності управління виробничими ресурсами, оскільки забезпечують своєчасний доступ до даних про завантаження обладнання, енергоспоживання, використання витратних матеріалів і якість друкарських операцій. Це створює умови для впровадження економічно обґрунтованих моделей розвитку підприємства, де управлінські рішення приймаються на основі обробки комплексних інформаційних потоків.

Запровадження таких технологій є важливим чинником формування конкурентних переваг поліграфічних виробництв, оскільки дозволяє скоротити період простою обладнання, підвищити продуктивність праці та мінімізувати непрямі витрати. У контексті інноваційної моделі розвитку економіки інформаційні системи відіграють роль інтеграційної платформи, що поєднує технічні та економічні аспекти функціонування підприємства, забезпечуючи його гнучкість і адаптивність до вимог сучасного ринку оперативної поліграфії.

Зокрема, програмні рішення для розрахунку економічних показників у сфері впровадження та обслуговування поліграфічного обладнання орієнтовані на забезпечення комплексної оцінки ефективності інвестиційних та експлуатаційних рішень дозволяють автоматизувати обчислення ключових параметрів, таких як вартість життєвого циклу обладнання, чиста приведена вартість, внутрішня норма рентабельності, термін окупності інвестицій та показники рентабельності експлуатації. Використання таких сервісів забезпечує можливість моделювання декількох сценаріїв розвитку, що враховують зміну обсягів завантаження друкарських машин, коливання цін на витратні матеріали, варіативність вартості енергоресурсів та зміни у структурі виробничих витрат.

Програмні платформи інтегрують аналітичні інструменти з базами технічних даних, що дозволяє користувачам отримувати результати на основі фактичних характеристик обладнання і актуальних ринкових умов. Завдяки цьому формуються більш точні прогнози економічної ефективності впровадження нових технологій та оптимізації сервісного обслуговування. Такі системи також сприяють підвищенню прозорості прийняття управлінських рішень, оскільки результати розрахунків подаються у вигляді наочних звітів і графічних інтерфейсів, що дозволяє порівнювати альтернативні варіанти модернізації або лізингових і сервісних моделей експлуатації обладнання. У поєднанні з функціями прогнозування програмні рішення забезпечують основу для формування стратегій розвитку поліграфічних підприємств, орієнтованих на економічну доцільність і раціональне використання ресурсів.

Впорядкування ієрархії програмних рішень для опрацювання економічних показників потрібне, щоб зрозуміти, які сервіси існують і як вони працюють. Кожен рівень показує, що саме може робити програма: від простих фінансових калькуляторів до складних систем, які поєднують дані про обладнання і виробничі процеси. Таке розділення допоможе потім порівняти сервіси між собою, побачити, що вже є, а чого бракує, і зрозуміти, які функції варто додати в наш проєктований сервіс. Допомагає поєднати економічні розрахунки з технічними даними про обладнання, щоб точніше оцінювати витрати, доходи і ефективність роботи поліграфічного виробництва.

Систематизація програмних сервісів може здійснюватися за рівнем універсальності та інтегрованості з виробничим процесом (таблиця 1): від загальних фінансово-аналітичних інструментів до комплексних галузевих систем, що враховують технічні й економічні параметри одночасно. Це відкриває можливість для побудови класифікації, яка допомагає обрати оптимальне рішення залежно від спеціалізації підприємства оперативної поліграфії.

Таблиця 1 – Ієрархія програмних рішень для опрацювання економічних показників

Рівень	**Критерії**	**Основні функції**	**Сфера застосування**
Універсальні фінансово-аналітичні сервіси	Базові інвестиційні оцінки	Розрахунок окупності	Первинне обґрунтування інвестицій
Спеціалізовані пакети управління витратами	Орієнтація на виробничу економіку	Моделювання собівартості	Оптимізація витрат
Галузеві інтегровані платформи	Поєднання технічних і економічних даних	Моніторинг обладнання	Управління парком обладнання
Аналітичні та прогнозні системи	Використання даних моніторингу для прогнозування	Сценарний аналіз; оцінка ризиків	Планування модернізації та сервісу

Рівень *універсальних фінансово-аналітичних сервісів* у поліграфії включає програми, які дозволяють робити базові оцінки інвестицій і визначати, наскільки вигідно вкладати гроші у нове друкарське обладнання. Такі сервіси здатні розраховувати окупність придбання машин, прості фінансові показники на кшталт чистого прибутку та рентабельності, але при цьому не враховують специфіку виробничого процесу, витрат на витратні матеріали, сировину чи затрачені ресурси [1]. Вони підходять для первинного обґрунтування інвестицій, коли потрібно швидко порівняти різні варіанти і зрозуміти, чи варто рухатися далі з проєктом.

Спеціалізовані пакети управління витратами вже орієнтовані на виробничу економіку і враховують конкретні технологічні особливості поліграфії. Такі системи дозволяють моделювати собівартість друку залежно від режимів роботи обладнання, використання витратних матеріалів і зарплат працівників [2, 3]. Вони допомагають оптимізувати витрати на матеріали і енергоресурси, планувати обслуговування і оцінювати, які процеси можна зробити ефективнішими, що особливо корисно для щоденної експлуатації поліграфічних машин.

Галузеві інтегровані платформи поєднують технічні та економічні дані в одній системі. Вони дозволяють відстежувати стан обладнання в реальному часі, планувати технічне обслуговування і обчислювати загальні витрати на експлуатацію машинного парку [4]. Такі платформи підходять для управління парком обладнання, дають змогу швидко реагувати на збої і планувати завантаження машин так, щоб виробництво було стабільним і економічно виправданим.

Аналітичні та прогнозні системи використовують дані моніторингу для побудови сценаріїв розвитку виробництва і оцінки ризиків. Вони допомагають планувати модернізацію обладнання, прогнозувати витрати на обслуговування та оптимізувати виробничі потоки, щоб підвищити ефективність підготовки поліграфічного замовлення і знизити непередбачувані витрати [5]. Ці системи корисні для довгострокового стратегічного планування і підтримки управлінських рішень щодо розвитку поліграфічного виробництва.

Розширена ієрархія програмних рішень для опрацювання економічних показників у поліграфічному виробництві (таблиця 1) демонструє поступове ускладнення функцій і зростання інтеграції економічних та технічних даних. Універсальні фінансово-аналітичні сервіси забезпечують базову оцінку інвестицій і первинне обґрунтування придбання обладнання, спеціалізовані пакети управління витратами дозволяють моделювати

собівартість друку та оптимізувати виробничі витрати, галузеві інтегровані платформи поєднують моніторинг обладнання з економічним аналізом і забезпечують управління парком машин, а аналітичні та прогнозні системи використовують дані моніторингу для планування модернізації, оцінки ризиків і підвищення ефективності виробничих процесів. Така структуризація дозволяє побачити взаємозв'язки між рівнями, визначити пріоритетні функції для розробки власної інформаційної технології та сприяє обґрунтованому прийняттю рішень щодо впровадження, обслуговування і модернізації поліграфічного обладнання.

Висновки.

Виконана систематизація програмних сервісів розрахунку економічних показників у поліграфічному виробництві показує шляхи ефективної інтеграції економічних розрахунків з технічними даними обладнання для підвищення точності прогнозів і обґрунтованості управлінських рішень щодо впровадження, обслуговування та модернізації поліграфічного виробництва, забезпечуючи базу для подальшого проєктування комплексної інформаційно-аналітичної платформи. Укладена ієрархія дозволила обумовити архітектуру такої платформи в чіткій послідовності і взаємозалежності функцій на різних рівнях, де кожен наступний рівень буде спиратися на можливості попереднього та доповнюватиме їх новими інструментами для обчислення економічної та виробничої ефективності. Це дасть змогу визначити базові функції, які мають бути реалізовані на початкових етапах, а також виділити додаткові можливості для розширення аналітичного сервісу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Економічний аналіз: підручник / за ред. М. Г. Грещак. Луцьк: Надстир'я, 2021. 512 с.
2. Комп'ютеризовані системи та технології видавничо-поліграфічних виробництв: монографія / за ред. О. В. Зоренко. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. 320 с.
3. Техніко-економічний аналіз: методи та прийоми економічного дослідження: навч. посіб. / за ред. В. П. Кравець. Київ: НБУВ, 2018. 280 с.
4. Мороз Р. Обґрунтування доцільності розгортання автоматизованих видавничо-редакційних веб-платформ. Друкарство молоде, №25, 2025. С. 91-96.
5. Інформаційні системи в економіці: підручник / за ред. Ю. Г. Лисенко. Київ: КНЕУ, 2020. 456 с.

УДК 330.341.1

GRANTS AS A FINANCIAL INSTRUMENT FOR STIMULATING INNOVATION

Zapotichna R.A.
Lviv State University of Internal Affairs

In the modern context of global competition and rapid digital transformation, innovation is becoming a decisive factor in economic development and the competitiveness of national economies. It forms the foundation of the knowledge economy, creates new jobs, fosters the modernization of production, enhances efficiency, and promotes environmental sustainability. However, the implementation of innovative ideas requires significant financial resources, access to which is often limited for startups, young researchers, and small enterprises. Traditional sources of financing, such as bank loans or entrepreneurs' own funds, are not always feasible due

to the high level of risks inherent in innovative projects. In this regard, grants acquire special importance as a specific financial instrument for stimulating innovative activity.

Grants are a form of non-repayable funding provided to individuals or legal entities for the implementation of scientific, educational, technological, or socially significant initiatives. Their key feature lies in the absence of an obligation to return the received funds, which significantly reduces financial risks for innovators and increases their motivation to launch new projects. Unlike loans or investments, grant funding is aimed not so much at immediate financial return but rather at creating social value and achieving strategic goals of economic development [1].

The application of grants in the sphere of innovation fulfills several important functions. First, they provide seed capital for research and development projects at early stages that may not yet attract private investors. Second, grant programs support the commercialization of scientific results, the creation of prototypes, testing of new technologies, and their introduction into production. Third, grants stimulate the development of international scientific and technical cooperation, as many of them are allocated within the framework of international programs involving universities, research centers, and businesses from different countries. Finally, grants play an essential role in supporting young researchers, doctoral students, and students, who, thanks to financial assistance, can start their own research, participate in conferences, or create startups.

Beyond direct financial support, grant programs contribute to the formation of innovation ecosystems. In the process of implementing grant projects, universities, government agencies, enterprises, and civil society organizations interact. This collaboration creates an environment where innovations are not only generated but also brought to the stage of practical application. It is important to emphasize that grants are often combined with other organizational and economic methods — tax incentives, public-private partnerships, and venture financing. This ensures a multiplier effect and promotes sustainable economic development.

At the same time, the effectiveness of the grant mechanism depends on a number of conditions. Above all, a transparent and fair selection of projects is crucial, as it guarantees support for the most promising ideas. Equally significant is the alignment of grant programs with the real needs of innovators and the current challenges of the economy. Another important factor of success is the scalability of grant project results and their integration into broader scientific, technological, and production processes. Certain challenges may also arise in the administration of grants, when excessive bureaucracy or rigid reporting requirements reduce flexibility and limit participants' creativity.

Thus, grants perform a dual role: on the one hand, they act as a source of financial resources for the implementation of innovative ideas; on the other hand, they serve as a strategic mechanism for the development of an innovation-driven economy. They enable the integration of scientific potential with the practical needs of society and business, stimulate the development of new technologies, and foster the growth of human capital. The combination of grant funding with other instruments — venture capital, crowdfunding, and tax incentives — creates conditions for the formation of a balanced innovation model of development.

Looking ahead, the role of grants as a financial instrument will only grow stronger. In the conditions of globalization and intensifying international competition, grant programs can ensure the rapid integration of national innovation systems into the global scientific and technological space. They open access to cutting-edge technologies, support researcher mobility, and promote the creation of international scientific consortia working on pressing challenges — from climate change and digital transformation to security and healthcare.

Grants are particularly important in the context of human capital development. They provide young researchers and entrepreneurs not only with financial support but also with opportunities to join global knowledge networks, participate in advanced research, and gain managerial and organizational experience. This contributes to the formation of a new generation

of leaders of the innovation economy, capable of thinking strategically and acting effectively in a rapidly changing environment [2].

At the same time, an important task is to enhance the efficiency of grant fund utilization. This requires clear mechanisms for monitoring and evaluating results, the dissemination of best practices, and the creation of conditions for scaling successful projects. Only under such circumstances can grant funding be transformed from a tool for supporting individual initiatives into a system-forming mechanism for the development of an innovation-based economy.

Conclusions. The conducted analysis allows us to conclude that grants should be interpreted not only as a form of financial support but as a significant component of organizational and economic policy, which determines the trajectory of economic modernization and contributes to maintaining long-term competitiveness. The effective application of grant mechanisms facilitates the transformation of scientific ideas into practically oriented solutions, which in turn promote structural changes in the economy and society and lay the groundwork for sustainable development in the long run.

LITERATURE

1. Zinych, L., & Zinych, V. (2024, April 16). *Legal aspects of grant financing as a tool for implementing state policy in the field of innovation / Правові аспекти грантового фінансування як інструменту реалізації державної політики у сфері інновацій.* Actual problems of improving of current legislation of Ukraine. https://doi.org/10.15330/apiclu.65.1.31-1.42
2. Hamed, A., Salman, A., Yassen, M., Aldabagh, D., & Savenko, V. (2024, September 4). *Human capital development in knowledge economies. Journal of Ecohumanism, 3*, 798–816. https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3938

УДК 669.74

РОЗСИПАННЯ МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ: ПРИЧИНИ, НАСЛІДКИ, МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Піщенко К.А.[1], Борсук С.А.[1]
[1]Запорізький національний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

Основними сьогоденними проблемами української феросплавної промисловості є висока вартість електроенергії, логістичні труднощі (зокрема, пов'язані з дороговизною обробки продукції в портах), брак кваліфікованого персоналу (через мобілізацію та недосконаліть механізмів бронювання) та воєнні ризики, оскільки багато підприємств розташовані в зонах бойових дій [1]. Так за підсумками 2023 р. феросплавне виробництво скоротило обсяг своєї продукції на 57,4% у порівнянні з 2022 р. [2]. За підсумками 2024 р/ феросплавні підприємства України скоротили випуск продукції на 49,4% р./р. – до 108,2 тис. т [3]. Розглядаючи експорт феросплавної продукції маємо наступну картину: експорт феросплавів за 2024 р. скоротився на 77,5% у порівнянні з 2023 р. (з 344,17 тис. т до 77,32 тис. т), а у 2022 р. цей показник був на рівні 349,56 тис. т, а у 2021р. – 668,54 тис. т [4].

Вирішення проблематики феросплавного виробництва представляється можливим за рахунок комплексу стратегічних заходів як в масштабах металургійної галузі, так і держави в цілому. Безпосередньо вирішення проблем необхідним є розробка державних програм, що мають передбачати розвиток інноваційної інфраструктури та науково-технічне забезпечення металургійного виробництва, економічно-обгрунтовану цінову політику на енергоносії, комерціалізацію наукових доробок, налагодження ефективного

співробітництва між державою, бізнесом та науковою спільнотою, збільшення кількості приватних інвестицій [5, 6].

Особливістю сплавів системи Fe-Si в рідкому стані (зокрема для висококремністих марок ФС65, ФС70, ФС75 та інших) є сильний розвиток ліквації у процесі розливки, який супроводжується різним вмістом кремнію по висоті зливку. Домішки у вигляді кальцію, алюмінію, фосфору та миш'яку також сильно ліквірують, що призводить до самовільного розсипання окремих районів зливку або повному розсипанню їх до порошкоподібного стану [7].

Аналіз провідних наукових досліджень структури та властивостей феросиліцію показав, що навіть при стандартному вмісті фосфору (0,03–0,04 %) феросиліцій з вмістом 49–51% Si схильний до розсипання. При цьому промислова практика і в даний час свідчить, що випадки розсипання феросиліцію повторюються та іноді з трагічними наслідками, оскільки при розсипанні спостерігається виділення шкідливих газів.

При формуванні в структурі 75%-ного феросиліцію (ФС75) надлишкових фаз виділення, ініціюють розсипання зливків з виділенням отруйних газів PH_3 (фосфіне) та AsH_3 (арсіне), в основному беруть участь три елементи – кальцій, алюміній і фосфор. Кремній і залізо в складі цих фаз, мабуть, стабілізують їх стійкість і знижують схильність зливків до розсипання у вологій атмосфері. При наявності в розплаві навіть невеликої кількості миш'яку він концентрується в фазах з Ca, Al та P [8].

Серед основних причин розсипання марганцевих та кремнієвих сплавів слід виділити:

1. Крихкість сплаву (феросплави при механічних впливах (удари, падіння) можуть легко розколюватися на дрібні частини).

2. Неоднорідність мікро-та макроструктури (при наявності внутрішніх дефектів (наприклад, порожнин, мікротріщин або неоднорідності) вони стають більш вразливими до розсипання).

3. Високий вміст домішок (наявність сірки або фосфору можуть знижувати механічну міцність сплаву, сприяючи його розсипанню).

4. Термічні впливи (коливання температури можуть спричинити термічні напруження в матеріалі, особливо якщо феросплав містить компоненти з різними коефіцієнтами теплового розширення).

5. Корозійні процеси (висока вологість або контакт із корозійно-активними середовищами (наприклад, під впливом луг, кислот, сірчистого газу) може призводити до окислення поверхні та послаблення структури).

6. Порушення умов зберігання (наприклад, вплив вібрацій, механічних ударів, надмірного тиску) та транспортування.

7. Особливості гранулометричного складу.

Зокрема, розглядаючи методи попередження розсипання феромарганцю та феросиліцію слід відмітити:

– необхідність використовувати сплави з оптимальним хімічним складом (відповідно до ДСТУ) та структурою;

– процес зберігання сплавів слід проводити в у сухих умовах, захищених від механічних ударів;

– необхідність проводити своєчасний контроль якості продукції на етапі виробництва феромарганцю та феросиліцію, особливо на предмет дефектів структури;

– необхідність забезпечення надійної упаковки під час транспортування.

Безпосередньо руйнування високовуглецевого феромарганцю може відбуватися внаслідок руйнування з'єднання Mn_3C, а розсипання феросиліцію з вмістом більш як 50% Si ускладнюється тим, що відбувається при охолодженні лебоітним розпадом. При швидкому охолодженні α-лебоіт фіксується у вигляді метастабільної фази, яка в подальшому розпадається зі збільшенням об'єму до 20% і викликає внутрішні напруги в сплаві, що сприяють розсипанню.

Наслідками розсипання марганцевих та кремнієвих сплавів є:

1. Порушення дозування при додаванні їх в піч в якості легуючих матеріалів чи модифікаторів.

Розсипання може призвести до втрати матеріалу та порушення співвідношення компонентів, що погіршує якість сталі.

2. Зниження ефективності технологічного процесу:

При розсипанні марганцевих та кремнієвих сплавів їх дрібні частинки можуть забрати потоком газу або осісти на стінках печі, знижуючи ефективність їх розчинення в металі.

3. Збільшення кількості відходів (брухту):

Залишки марганцевих та кремнієвих сплавів, що розсипалися, часто важко зібрати та використовувати повторно.

4. Пошкодження основного обладнання металургійного процесу:

Зношування або поломки механізмів, що використовуються для подачі та змішування, можуть бути спричинені наявністю дрібних частинок. Це призведе до додаткових капітальних витрат.

5. Негативний вплив на навколишнє середовище (забруднення ґрунту (наприклад, марганець, який при попаданні в ґрунт може викликати токсичну дію на рослини та мікроорганізми), вплив на атмосферу (пил від марганцевих та кремнієвих сплавів, що розсипалися, підніматися у повітря, що погіршує його якість, що прямо завдає загрози здоров'ю людини).

Рекомендації щодо мінімізації наслідків розсипання марганцевих та кремнієвих сплавів полягають у наступному:

1. Слід використовувати автоматизовані системи подачі марганцевих та кремнієвих сплавів із мінімізацією ризику їх розсипання.

2. Треба застосовувати системи контролю дозування та фільтрації.

3. Доцільно проводити регулярне технічне обслуговування основного та додаткового обладнання феросплавного цеху (або лабораторії).

4. Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище слід організувати герметичні системи зберігання та транспортування марганцевих та кремнієвих сплавів, встановлювати пиловловлюючі фільтри на виробничих ділянках, а також створювати аварійні плани на випадок ситуацій, коли будуть розсипання цих сплавів [9].

Висновки. Сьогоденний пошук доцільних шляхів захисту навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів – найактуальніші напрями наукових досліджень в різних галузях науки. Зокрема у феросплавній промисловості проблематика самодиспергування марганцевих сплавів залишається маловивченою та потребує додаткових досліджень. Встановлено, що попередниками розсипання марганцевих сплавів є порушення умов зберігання та транспортування. Розсипання феросплавів – це не лише технологічна, а й екологічна проблема. Впровадження нових технологій, автоматизації процесів, покращення методів транспортування та зберігання, а також суворіші екологічні норми значно зменшують ризики, пов'язані з цим. Однак для повного вирішення проблеми потрібен комплексний підхід, включаючи покращення як виробничого процесу, так і методів управління екологічним впливом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Феросплавні підприємства у 2024 році вдвічі скоротили виробництво [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3958818-ferosplavni-pidpriemstva-u-2024-roci-vdvici-skorotili-virobnictvo.html (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

2. Українська феросплавна галузь не може відновити роботу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/news/ukrainska-ferosplavna-galuz-ne-mozhe-vidnoviti-

robotu/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

3. У 2024-му феросплавні заводи виробили 108 тис. т продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/opinion/u-2024-mu-ferosplavni-zavody-vyrobyly-108-tys-t-produktsii/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

4. Феросплавна галузь України в січні-травні експортувала 45 тис. т продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/news/ferosplavna-galuz-ukraini-v-sichni-travni-eksportuvala-45-tis-t-produkcii/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

5. Неклеса М. А. Екологічні аспекти виробництва марганцевих феросплавів: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://eprints.kname.edu.ua/52308/1/%D1%871-126-127.pdf (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

6. Коваленко О. В. Проблеми та перспективи розвитку феросплавного виробництва як важної складової металургії України / О. В. Коваленко // Глобальні та національні проблеми економіки. –2015. – Вип. 4. – С. 424–426.

7. Зубов В. Л. Механізована розливка і фракціонування кременистих феросплавів, технологія і обладнання: навч. посіб. / В. Л. Зубов, М. І. Гасик. – Дніпропетровськ: Нац. металург. акад. України, 2011. – 143 с.

8. Ганоченко М. О. Проблеми розсипання феросплавів / М. О. Ганоченко, О. С. Воденнікова // Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (Запоріжжя, 24–27 листопада 2020 р.). – Запоріжжя: ЗНУ, 2020. – С. 15–16.

9. Воденнікова О. С. Аналіз причин та наслідків розсипання та руйнування марганцевих та кремнієвих сплавів / О. С. Воденнікова, С. А. Воденников, В. Г. Коростін //Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід : VII Міжнародна конференція (Дніпро, 23–25 грудня 2024 р.). – Дніпро: Журфонд, 2024. – С. 93–96.

СЕКЦІЯ 2
«ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКА, РОБОТОТЕХНІКА І АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ»

УДК 608 (075..8)-621.941.2

ГЕНЕТИЧНИЙ ПІДХІД – КЛЮЧ ДО ОПИСУ І СТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (ТС)

Ю.М.Кузнецов
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Робота є результатом багаторічної діяльності української школи у галузі створення нових верстатів, їх механізмів та інструментально-технічного оснащення із застосуванням генетико-морфологічного підходів, що проілюстровано на великій кількості прикладів, реалізованих у машинобудуванні України, Росії, Болгарії та інших країнах з величезним економічним ефектом.

Створення нових технічних систем (ТС), що розвиваються, неможливо без аналізу та обліку накопиченого людського досвіду, який як генетична інформація передається з покоління в покоління на різних носіях. Безперервне розширення та ускладнення ТС та виконуваних ними функцій підтверджує діалектику їх розвитку у часі. Якщо перші пристосування, призначені для розширення фізичних можливостей Людини при виконанні тієї чи іншої роботи, були елементарними знаряддями у вигляді палиць, каміння, сокир, ножів і т.п. , то на сучасному розвитку людського суспільства доводиться мати справу з цілими системами, які не тільки замінюють фізичну та рутинну розумову працю, але й піддаються автоматичному управлінню та інтелектуалізації, а також дозволяють здійснювати робочі процеси при оптимальних параметрах та режимах. З'явилися складні ТС, до яких, наприклад, належать технологічні пристосування, металорізальні верстати з ЧПК та мехатронними системами, роботизовані технологічні комплекси і навіть гнучкі автоматизовані заводи. Розвиток будь-якого ТС включає еволюційні процеси, що характеризують кількісні зміни, і революційні, що відображають якісні зміни. При еволюції складних ТС, які створені в результаті цілеспрямованої діяльності Людини, спостерігаються такі ж закони, як й у живих системах.

Раніше піддані нищівній критиці кібернетика і генетика проклали шлях до пізнання та їх використання в ТС. В останні роки знання, отримані в генетиці, почали використовуватися в різних галузях науки і техніки, оскільки генетика – це міждисциплінарна галузь знань, що вивчає закони спадковості та структурної мінливості у природних та природно-антропогенних системах. Наявність міжсистемних аналогій – свідчення спільності системних принципів структурної організації у системах різної фізичної природи, що розвиваються. Відкриття та пізнання породжувальних систем у тій чи іншій галузі знань має загальнонаукове та міждисциплінарне значення, оскільки безпосередньо пов'язане з виникненням та становленням нової наукової парадигми, що визначає перехід від фрагментарних досліджень до системних [1,3].

Проте раніш віддані нищівній критиці кібернетика і генетика проклали шлях до пізнання нового і їх міждисциплінарного застосування при створенні нової техніки і нових технологій. Нові наукові ідеї і винаходи, як правило, намагаються в короткий термін впровадити в народне господарство і соціальну сферу для зростання добробуту і якості життя людей. ,

Сьогодні людство опинилося перед викликами четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» [3]. Для усунення недоліків репродуктивної форми передачі знань запропонований креативний системний погляд у вирішенні конструкторських та технологічних завдань з використанням генетичного підходу до опису і створенню ТС [2,4].

Література

1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем /Е.П.Балашов.-М.: Радио и связь, 1985.-328с.

2.Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып. 85. - с.149-162.

3.Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины //Вестник ХНТУ, №2 (61), 2017.-с.67-75.

4.Шинкаренко В.Ф.Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем //Праці Таврійського держ. агротехн. Університета.-Вип.11.-Том 4, 2011.-с.3-19.

УДК 621.9

ПЕРСПЕКТИВНІ КОМПОНОВКИ 3D ПРИНТЕРІВ З МЕХАНІЧНОЮ ПОСТОБРОБКОЮ

Дмитрієв Д.О., Кузмічов М.Ф.
Херсонський національний технічний університет

Постобробка є невід'ємною складовою адитивного виробництва, яка значно впливає на якість готових деталей. Основні методи постобробки мають свої специфічні характеристики та впливають на різні аспекти продукції. Тому виникає важлива потреба комплексного дослідження впливу різних методів постобробки на кінцеві властивості продукції для підвищення якості деталей і розширення можливостей їх практичного застосування.

В сучасній науковій літературі існує обмаль технічних рішень пов’язаних з комплексом робіт в одному циклі саме друк і пост обробка отриманих виробів [1]. До основних недоліків застосування такого обладнання в адитивних технологіях належать: по-перше, відсутність термічно стабільної робочої зони необхідної для підтримування температурних умов пошарового накладання матеріалу в адитивному виробництві; по-друге, застосування лише компоновки з верхнім розташуванням рухомої платформи та вертикальною орієнтацією сопла виконавчого органу, що обмежує застосування спектру компоновок, а відповідно і скорочення функціональності такого автоматизованого технологічного обладнання.

В даному дослідженні поставлено задачу удосконалення комплексного процесу пошарового нанесення полімерних, композитних і металевих матеріалів в поєднанні з механічною обробкою та постобробкою утворених деталей при мінімальному ручному втручанні людини в автоматизованому циклі. Пропонується нова компоновка 3D-принтеру, що має дві окремі робочі зони - верхню для пошарового нанесення матеріалу методом адитивних технологій обмеженою активною або пасивною термокамерою та нижню зону для механічної обробки надрукованих деталей, при цьому оброблювана деталь на робочому столі переміщується із зони друку в зону механічної обробки поворотним пристроєм, що розташовано на межі в основі верхнього і нижнього каркасів 3D-принтера. Робоча зона 1 призначена для пошарового накладання матеріалу містить

робочий стіл 3 з підігрівом, на якому відбувається друк деталі 4, стійки каркасу 5 зведені в одну точку зверху, окремі приводи лінійного руху 6, 7 і відповідні ним крокові двигуни 8, 9, штанги постійної довжини 10, 11 шарнірно з'єднані з приводами лінійного руху 6, 7 та рухомою платформою 12, на якій розташовано головку для друку 13. Робоча зона 1 має активну або пасивну термокамеру 14 стінки якої розташовано між стійками каркасу 5. Робоча зона 2 є відкритою і призначена для механічної пост обробки надрукованої деталі або проміжної обробки елементів деталі 4 під час друку, містить стійки каркасу 15 зведені в одну точку знизу, опорні вертикальні стійки 16, окремі приводи лінійного руху 17, 18 і відповідні ним крокові двигуни 19, 20, штанги постійної довжини 21, 22 шарнірно з'єднані з приводами лінійного руху 17, 18 відповідно та рухомою платформою 23, на якій розташовано інструментальний шпиндель 24. В робочій зоні 2 розташовано магазин інструментів для механічної обробки 25 та маніпулятор заміни інструменту 26 в шпинделі 24. Переміщення деталі 4 із робочої зони 1 після циклу друку в робочу зону 2 для механічної обробки відбувається за допомогою пристрою обертання 27 робочого столу 3. Механічна обробка деталі 4 в робочій зоні 2 відбувається інструментальним шпинделем 24 на рухомій платформі 23 знизу у вертикальному положенні. За рахунок чого стружка та відходи механічної обробки видаляються вниз на піддон обладнання та не залишаються на робочих поверхнях.

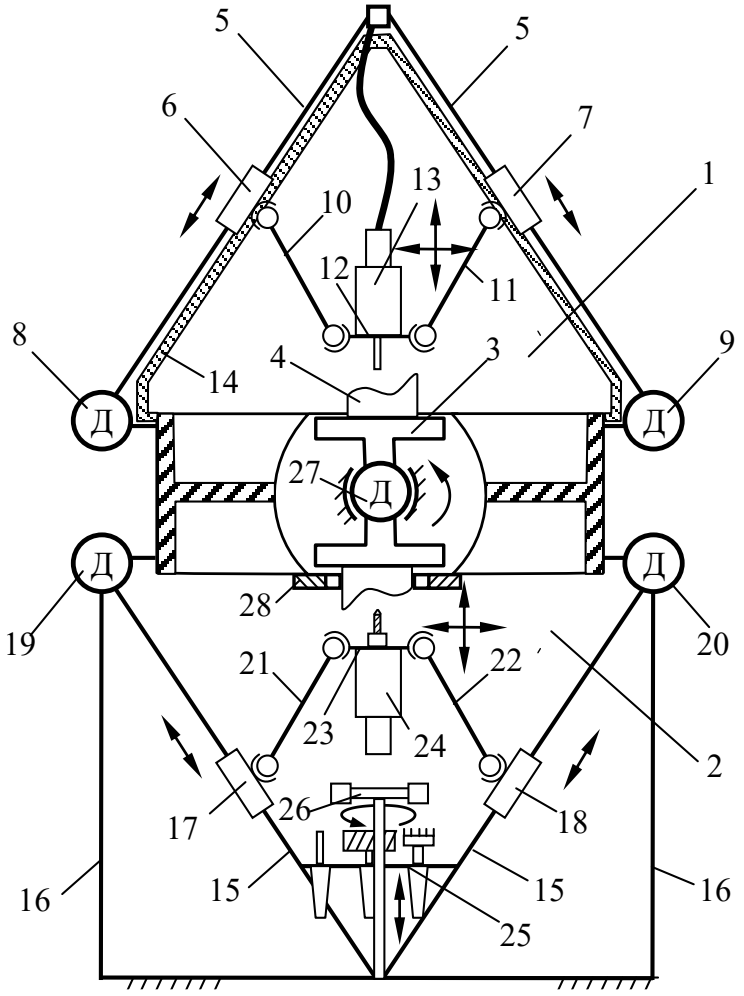


Рисунок1 – Принципова схема багатофункціонального 3D принтера з комбінованими можливостями механічної постобробки

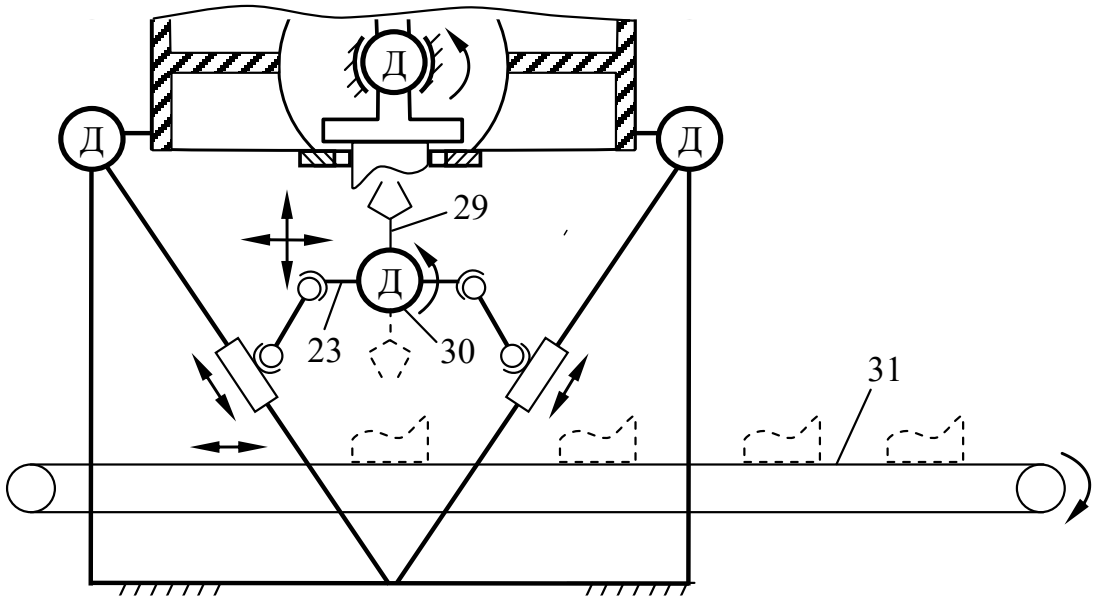


Рисунок 2 – Робоча зона маніпулювання надрукованими виробами нової компоновки 3D принтера

Для надійного закріплення деталі в робочій зоні 2 можуть бути використані самоцентруючі машинні лещата 28. Після закінчення повного циклу виготовлення (друк та постобробка) деталь 4 може бути видалено автоматизовано поворотним маніпулятором 29 на рухливій платформі 23, позиціювання схвату, якого виконується кроковим двигуном 30 на транспортер 31 в нижній робочий зоні 2 за рахунок її відкритості між стійками каркасу 15 (рис. 2).

Керування рухами багатофункціонального 3D принтера забезпечується системою числового програмного керування (ЧПК), що формує та подає керуючий сигнал на приводи механізмів поступального руху. Це спричиняє переміщення кареток повздовж стойок каркаса, тим самим змінюючи положення двох платформ 12 і 23 з виконавчим органом для друку 13 та інструментальним шпинделем 24 просторі. З технологічної точки зору багатофункціональний 3D-принтер може об’єднувати окремі переходи 3D друку та механічної постобробки на одній деталі або виконувати окремо операції 3D друку та механічної пост обробки для різних деталей 4.

Висновки. Представлено проектну компоновку багатофункціонального 3D принтеру для забезпечення повного циклу комплексної автоматизованої обробки деталей складної геометрії включаючи переходи та операції механічної постобробки, що досягається розділенням робочих зон і виконавчих органів 3D друку та механічної постобробки в межах каркасу стійок несучої основи із застосуванням приводів виконавчих органів у вигляді механізмів паралельної структури та поворотного пристрою переміщення робочого столу з деталлю між робочими зонами. Запропоноване конструктивне рішення може бути використано на підприємствах машинобудівної промисловості при адитивному виробництві складнопрофільних деталей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 153738 , МПК B33Y30/00, Автономний гібридний 3D-принтер/ Солнцев О. В., Яхно А. С.; заявник і патентовласник Солнцев О. В., Яхно А. С. – №202204302 заявл. 14.11.2022; опубл. 23.08.2023, Бюл. № 34….

УДК 621.833.6:004.942

ЕНТРОПІЙНА ДІАГНОСТИКА РЕЗОНАНСНИХ СПЕКТРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ПАР

Ковалевський С.В., Шуліка М.С., Надіч П.В.
Донбаська державна машинобудівна академія

Надійність кінематичних пар редукторів і підшипникових вузлів визначає ресурс і безпеку експлуатації машин. Традиційні амплітудно-частотні індикатори часто виявляються недостатньо чутливими на ранніх стадіях дефектів, тоді як ентропійні міри, що кількісно оцінюють невпорядкованість/складність сигналу, демонструють вищу інформативність для обертових вузлів, зокрема підшипників і зубчастих передач [1,2,3].

У запропонованій схемі центральним елементом є спектральна ентропія. Для дискретного спектра нормується спектральна щільність потужності у вибраній смузі до «ймовірностей» p_i і обчислюється ентропію:

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \, log_2 p_i \,,$$

де n - кількість дискретних частотних інтервалів (відліків спектра) у досліджуваній смузі.

Для порівнянності між різними розрізненнями вводиться нормоване значення

$$H_{norm} = \frac{H}{log_2 n}.$$

За рівномірного розподілу енергії H_{norm} наближається до 1, а при домінуванні окремих вузьких смуг — до 0 [4].

Для локалізації діагностично значущих частотних підсмуг використовується хвильова пакетна декомпозиція. Вона поділяє сигнал на рівні підсмуги, після чого для кожної з них обчислюється ентропія, і за критерієм мінімуму обирається найбільш інформативна смуга [5]. Додатково застосовується ентропія перестановок (PE) та її багатомасштабне узагальнення (MPE), які виявляють часову складність сигналу і добре поєднуються з алгоритмами машинного навчання [1,6]. Особливо ефективним є поєднання PE та спектральної ентропії для низькошвидкісних підшипників, де інші методи малоефективні [4]. Узагальнений аналіз 12 різних ентропійних мір підтверджує переваги такого підходу для ранньої діагностики [2].

Для кількісного зв'язку ентропійних показників із реальним фізичним зношуванням ми вводимо метрологічно узгоджений параметр $\delta(t)$, що може, наприклад, відображати радіальний зазор у підшипнику. Цей параметр нормуємо, отримуючи безрозмірну міру зносу:

$$W = \frac{\delta(t) - \delta_0}{\delta_{crit} - \delta_0}\,, \quad W \in [0,1]\,,$$

де δ_0 відповідає початковому (здоровому) стану, а δ_{crit} визначає критичний рівень, за якого настає відмова вузла.

Далі встановлюємо емпіричну залежність між нормованою ентропією H_{norm} та ступенем зносу W. У робочому інтервалі зносу ефективно працює степенева апроксимація спадного характеру:

$$H_{norm}(W) = H_0 - \mathrm{a}\cdot W^b\,, \qquad a > 0,\ \ b \in [0,1]\,,$$

де H_0 — значення ентропії для справного стану.

У випадках, коли на ранній стадії спостерігається тимчасове зростання ентропії внаслідок впливу шуму, застосовуємо насичувану модель:

$$H_{norm}(W) = H_{min} + (H_0 - H_{min})\cdot e^{-kW},\ \ k > 0\,,$$

яка для малих значень W переходить у степеневу форму.

Обидві наведені моделі добре узгоджуються з даними публікацій, де показано кореляцію ентропійних індикаторів зі ступенем пошкодження елементів зубчастих передач і підшипників [3].

Практична реалізація методики ґрунтується на типовому алгоритмі оброблення вібраційних сигналів. Спершу здійснюється попередня фільтрація та усунення тренду, після чого спектральну щільність потужності оцінюють за методом Велча [7]. Далі енергія в межах обраної частотної смуги нормується, а на її основі обчислюється нормована спектральна ентропія H_{norm}. Наступним кроком виконується хвильова пакетна декомпозиція (WPD/BWPT) із фіксованою глибиною розкладу, що дозволяє визначити діагностично значущу підсмугу за критерієм мінімальної ентропії [5]. Для отримання часових характеристик додатково розраховуються показники ентропії перестановок (PE) та багатомасштабної ентропії перестановок (MPE) [1,6]. Сформований вектор ознак використовується або для застосування порогових критеріїв, або як вхідні дані для класифікатора.

Апробація цього підходу на експериментальних даних редукторних вузлів і підшипникових опор продемонструвала здатність алгоритму забезпечувати своєчасне виявлення початкових дефектів і адекватне визначення ступеня зношування. Особливо важливу роль на низьких швидкостях обертання відіграє поєднання ознак на основі ентропії перестановок і спектральної ентропії [4].

Література

1.Zhao L.-Y.; Wang L.; Yan R.-Q. Rolling bearing fault diagnosis based on wavelet packet decomposition and multi-scale permutation entropy // Entropy. – 2015. – Vol. 17, № 9. – P. 6447–6461. – DOI: 10.3390/e17096447.

2.Leite G. N. P.; Araújo A. M.; Rosas P. A. C.; Stosic T.; Stosic B. Entropy measures for early detection of bearing faults // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2019. – Vol. 514. – P. 458–472. – DOI: 10.1016/j.physa.2018.09.174.

3.Elvira-Ortiz D. A.; Cano-Plata E. A.; Betancur-Ríos C. M. An entropy-based condition monitoring strategy for motor-gear wear severities // Entropy. – 2023. – Vol. 25, № 3. – Art. 424. – DOI: 10.3390/e25030424.

4.Sandoval D.; Leturiondo U.; Pozo F.; Vidal Y. Low-speed bearing fault diagnosis based on permutation and spectral entropy measures // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, № 13. – Art. 4666. – DOI: 10.3390/app10134666.

5.Wan S.; Zhang X.; Dou L. Shannon entropy of binary wavelet packet subbands and its application in bearing fault extraction // Entropy. – 2018. – Vol. 20, № 4. – Art. 260. – DOI: 10.3390/e20040260.

6.Li H.; Huang J.; Yang X.; Luo J.; Zhang L.; Pang Y. Fault diagnosis for rotating machinery using multiscale permutation entropy and convolutional neural networks // Entropy. – 2020. – Vol. 22, № 8. – Art. 851. – DOI: 10.3390/e22080851.

7. Khan M. S., Shaikh S. I., Shaikh M. A., Shaikh S. A. Vibration analysis of induction motor for fault diagnosis using Welch method of power spectral density // International Journal of Progressive Research in Engineering, Management and Science (IJPREMS). – 2025. – Vol. 5, Issue 3. – P. 88–94. – URL: https://www.ijprems.com/uploadedfiles/paper/issue_3_march_2025/38876/final/fin_ijprems1741607711.pdf (дата звернення: 06.09.2025).

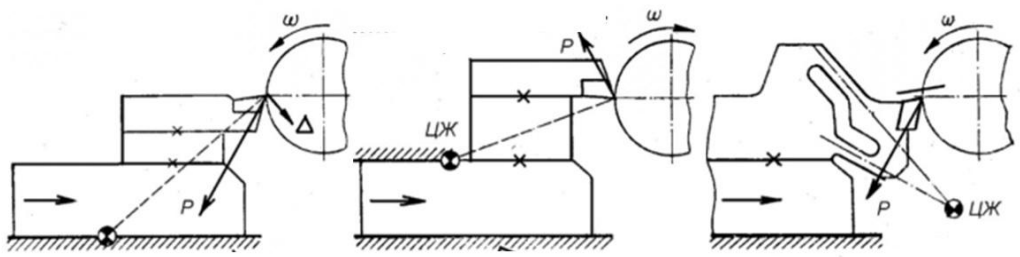
УДК 621.9.048.6

РІЗЦЕТРИМАЧ З ОРІЄНТОВАНОЮ ЖОРСТКІСТЮ І ДЕМПФЕРОМ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНОГО ВЕРСТАТА

Шевченко О.В., Крупська О.С.
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Основні засоби підвищення вібростійкості токарних верстатів при різанні, сформульовані в роботах [1, 2], це – оптимальна орієнтація головних осей жорсткості і підбор співвідношень жорсткостей і мас елементів системи; – забезпечення умов, при яких збільшення сили різання викликає відтискання інструменту від оброблюваної деталі; - збільшення демпфірування пружної системи верстата.

При використанні звичайних жорстких конструкцій різцетримачів на токарних автоматах гранична ширина стружки, що знімається поперечними супортами, які працюють «на притискання» (рис.1, а) [1], майже вдвічі менша, ніж супортами, що працюють «на відрив» (рис.1, б). У першому випадку жорсткість пружної системи «від'ємна». Полюс повороту вершини різця відносно оброблюваної деталі, що називається центром жорсткості (ЦЖ), розміщено таким чином, що внаслідок деформації пружної системи при збільшенні сили різання P вершина різця зміщується на величину Δ в матеріал оброблюваної деталі та викликає подальше збільшення сили P. У другому випадку жорсткість «додатна». Із збільшенням сили P вершина різця внаслідок деформації пружної системи відтискається від оброблюваної деталі і сили різання зменшується.



а) б) в)

Рисунок 1 - Конструктивні схеми різцетримачів

Забезпечення «додатної» жорсткості пружної системи можна досягти використанням різцетримачів з пружними елементами. Вибором напрямку осей пружних елементів можна розмістити ЦЖ зі сторони, наприклад, задньої (рис.1, в) поверхні різця.

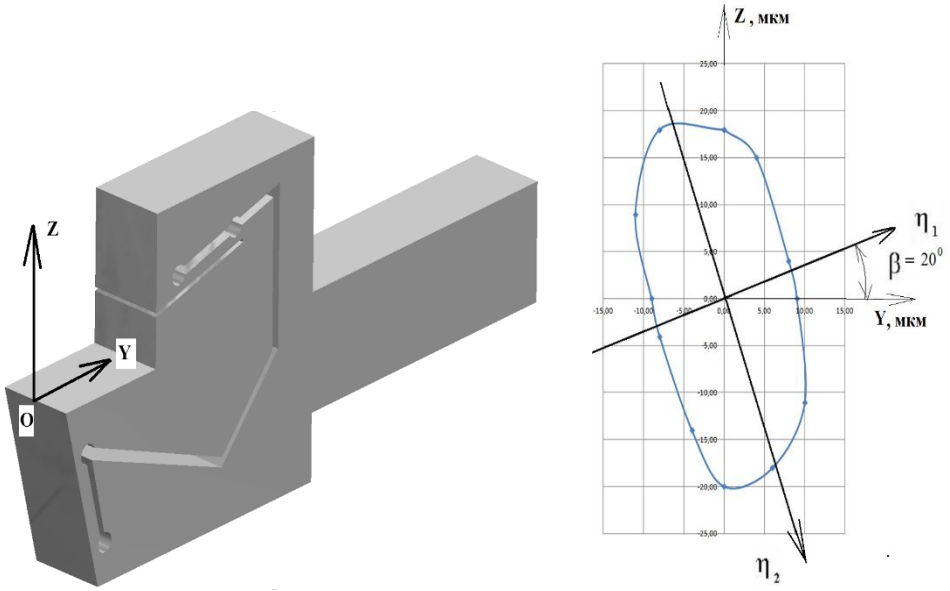
Одним із ефективних засобів підвищення вібростійкості верстата при різанні є збільшення демпфірування в його пружній системі. Вібростійкість при обробці на токарному верстаті можна підвищити раціональною орієнтацією головних осей жорсткості пружної системи інструменту та підвищенням роботи сил опору шляхом збільшення в ній демпфірування. Для забезпечення «додатної» жорсткості пружної системи інструменту, коли збільшення сили різання призводить до відтискання різця від деталі, і достатньої величини жорсткості в напрямку нормалі до оброблювальної поверхні пропонується варіант спеціальної конструкції різцетримача для токарно-револьверного верстата з використанням пружних шарнірів.

На рис. 2, а наведено твердотільну модель пружної частини різцетримача. До конструкції пружної частини додано хвостовик, що визначає положення його нерухомої частини під час навантаження різцетримача силою різання.

Відомо [1], що при токарній обробці траєкторія руху вершини різця має форму наближену до еліпсу, головні вісі якого зазвичай не співпадають з узагальненими координатними осями верстата. Крім того, радіальна податливість системи інструменту є різною при різних напрямках навантаження, що обумовлює наявність осей мінімальної та максимальної податливості. Рух за цими осями вважається незалежним, а координати є нормальними або головними. Крім того, параметри податливості, або жорсткості, пружної системи та напрямок осей головних координат є характеристиками пружної системи і не залежать від напрямку зовнішнього навантаження.

Для визначення особливостей конструкції пружної частини різцетримача виконано розрахунок полярної діаграми податливості в площині ZOY, положення якої визначається напрямком складових сили різання P_z та P_y (рис. 2, б).

Навантаження пружної частини різцетримача здійснено силою P = 500 Н, прикладеною в точці різання. При цьому напрямок дії сили P відносно координатних осей в площині ZOY змінюється 12 разів через 30^0. Для кожного напрямку дії сили P визначаються пружні деформації в точці прикладання сили за напрямками осей OY та OZ.



а) б)

Рисунок 2 - Модель пружної частини різцетримача (а) та полярна діаграма її податливості (б)

Аналіз форми полярної діаграми податливості пружної частини різцетримача дозволяє зробити наступні висновки: - кут розвороту головних осей жорсткості $O\eta_1$ і $O\eta_2$ дорівнює β = 20^0; - жорсткість в напрямку осі $O\eta_1$ $c_{\eta 1}$ = 56 Н/мкм; - жорсткість в напрямку осі $O\eta_2$ $c_{\eta 2}$ = 26 Н/мкм.

Пружне переміщення інструменту в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні має вигляд: $$y = y_2 + y_1 = \eta_2 \cdot \sin\beta + \eta_1 \cdot \cos\beta\,.$$

Визначимо переміщення інструменту в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні при напрямку дії сили різання $\alpha = 30^0$.

Для цього використаємо наступне рівняння [2]:

$$y = P \cdot \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin\beta\,/c_{\eta_2} - P \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot \cos\beta\,/c_{\eta_1}.$$

У відповідності до цього рівняння отримуємо наступний результат:

$$y = y_2 + y_1 = 6{,}74 - (-1{,}46) = 8{,}2 \text{ мкм.}$$

Відповідно до цього статичну характеристику пружної системи інструменту можна визначити за наступною залежністю [2]:

$$K_{ПС} = K_{ПС_2} + K_{ПС_1}, \text{ де } K_{ПС_2} = y_2/P, \text{ а } K_{ПС_1} = y_1/P.$$

Розрахункове значення статичної характеристики пружної системи інструменту дорівнює $K_{ПС} = 0{,}0164$ мкм/Н.

Додатне значення статичної характеристики пружної системи інструменту та величина і напрямок розвороту головних осей жорсткості пружної системи інструменту ($O\eta_1$ і $O\eta_2$, $\beta = 20^0$) забезпечують умову відтискання різця від оброблюваної поверхні при збільшенні сили різання, що є однією із умов вібростійкої обробки.

Нижча жорсткість в напрямку осі $O\eta_2$ ($c_{\eta_2} = 26$ Н/мкм) по відношенню до жорсткості в напрямку осі $O\eta_1$ ($c_{\eta_1} = 56$ Н/мкм) забезпечує умову відсутності між цими осями координатного зв'язку, що є наступною умовою забезпечення вібростійкої обробки.

На рис. 3 наведено загальний вигляд різцетримача токарно-револьверного верстата, у якого між корпусом 1, що встановлюється в револьверну головку верстата, та пружною частиною 2, вмонтовано демпфер 3.

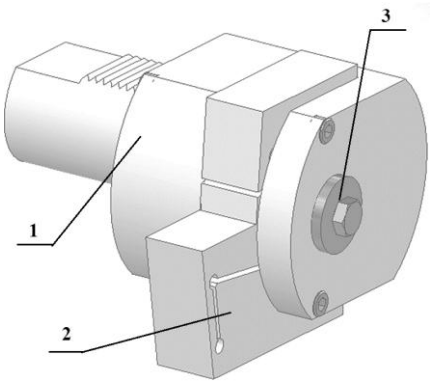


Рисунок 3 - Загальний вигляд різцетримача з демпфером токарно-револьверного верстата, де 1 – корпус різцетримача, 2 – пружна частина, 3 – демпфер

Для подальшого моделювання динамічних процесів при обробці різанням з використанням дослідної конструкції різцетримача проведено експерименти з визначення частот вільних коливань для пружної частини різцетримача. Для цього використано стенд з пристосуванням для затиску пружної частини різцетримача, п'єзоелектричний акселерометр мод. Д13, що встановлено в зоні різальної пластинки, вимірювач вібрацій мод. ВШВ 003 та персональний комп'ютера з програмою спектрального аналізу коливань. Імпульсний вплив на консольну частину різцетримача здійснювався ударом з подальшим записом звукового файлу в програму персонального комп'ютера.

На рис. 4 наведено амплітудно-частотну характеристику вільних коливань пружної частини різцетримача в зоні встановлення різальної пластини в напрямку P_y сили різання.

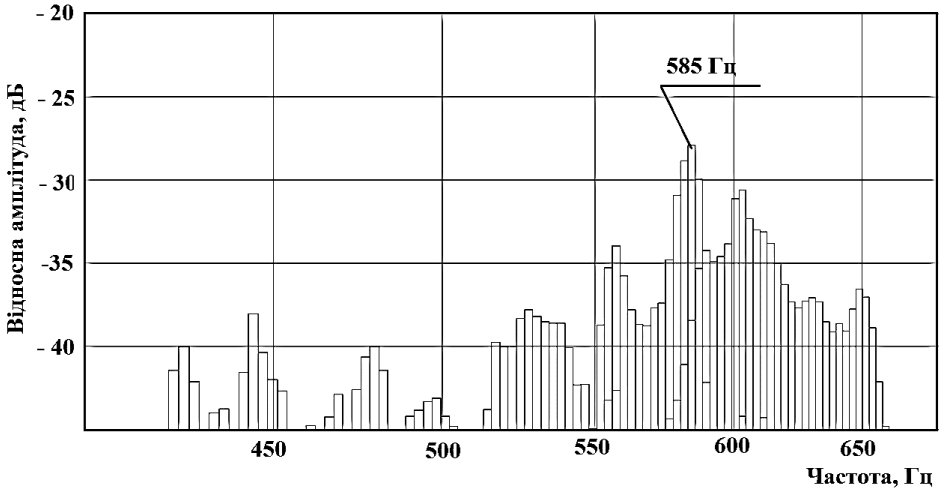


Рисунок 4 - Амплітудно-частотна характеристика коливань пружної частини різцетримача в напрямку складової P_y сили різання

Аналіз результатів визначення частотних характеристик пружної частини різцетримача дозволяє зробити наступні висновки: - найбільша амплітуда вільних коливань пружної частини різцетримача зареєстрована на частоті 585 Гц як для напрямку радіальної складової сили різання P_y, так і для напрямку тангенціальної складової сили різання P_z ; - час затухання коливань в напрямку P_y у двічі більший, ніж час затухання коливань в напрямку P_z, що можна пояснити особливостями будови пружної частини різцетримача, призначеного для гасіння коливань в тангенціальному напрямку до оброблюваної поверхні; - отримані результати є попередніми, але дозволять порівняти властивості пружної частини різцетримача до встановлення в корпус із властивостями зібраної конструкції.

На рис. 5 наведено приклад амплітудно-частотних характеристик вільних коливань різцетримача з демпфером в пружній частині в напрямку складової P_z сили різання.

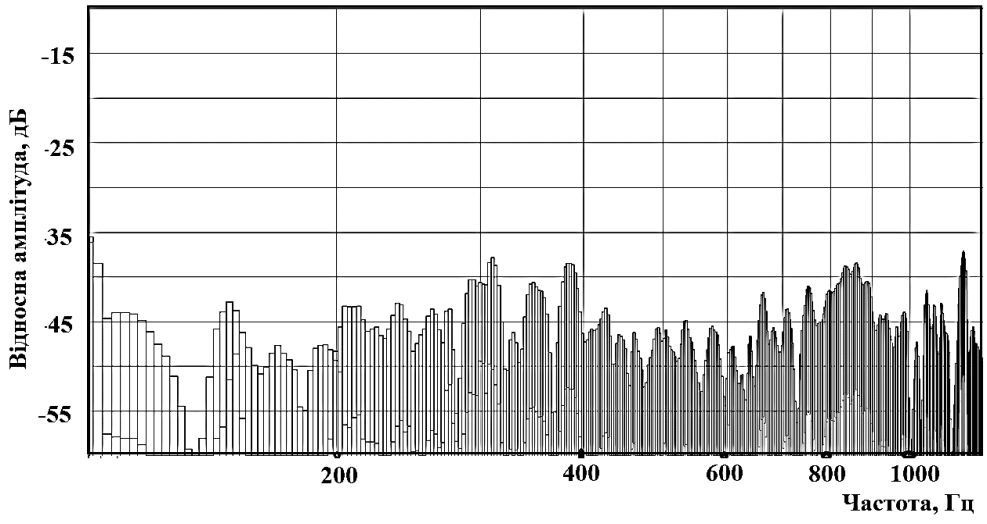


Рисунок 5 - Амплітудно-частотна характеристика коливань різцетримача з демпфером в пружній частині в напрямку складової P_z сили різання

Порівняння амплітудно-частотних характеристик коливань пружної частини різцетримача дає можливість зробити висновок, що використання демпфера є ефективним для гасіння коливань в діапазоні частот від 500 Гц до 800 Гц. Саме в цей діапазон попадають частоти вільних коливань пружної частини різцетримача. Відповідно, використання демпферу забезпечує відсутність резонансних ефектів між власними

коливаннями пружної частини різцетримача та вимушеними коливаннями при різанні, що є одним із чинників забезпечення вібростійкого різання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Орліков М.Л. Динаміка верстатів: Навч. посіб для вузів. - Київ: Вища школа, 1989. - 272с.

2. Kuznietsov Yurii, Shevchenko Oleksandr, ŠOOŠ Ľubomir. Expanding the functionality of lathe toolholders // Strojnícky časopis – Journal of Mechanical Engineering, SjF STU Bratislava, Slovakia, vol. 75 (2025), ISSUE 1 (APRIL 2025), p.p. 71–86 (https://doi.org/10.2478/scjme-2025-0008).

3. **Шевченко О. В., Пирч В.М.** Орієнтація пружної системи інструменту токарного верстата / Матеріали 14 Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» - Чернігів, ЧНТУ: 23-24.05.2024. с. 34-36. (https://drive.google.com/file/d/1s2IU7CHhsXHLKxCXEVmEM_AxquSi6b0q/view).

УДК 621.383

LSC У МІСЬКИХ УМОВАХ: ПОТЕНЦІАЛ ДЛЯ SMART CITY ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Драган М. Д., Бешта О. О.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Новітні технології дуже швидко та вагомо розвиваються, вони неодмінно впроваджуються у наше життя, тож потреба у рівномірній інтеграції їх зараз стоїть досить гостро. Наприклад, у США на тлі стрімкого розвитку технологій ШІ спостерігається зростання споживання електроенергії і, як слідство, зростання цін на неї [1]. За інформацією Newsweek, зростання споживання центрами обробки даних вже призвело до підвищення цін на електроенергію на 6,5% у період з травня 2024 по травень 2025 року. Середні показники зростання у таких штатах, як Коннектикут та Мен, склали 18,4% та 36,3% відповідно. Очікується, що зростання триватиме, оскільки технологічні компанії продовжують розширювати інфраструктуру, необхідну для роботи систем штучного інтелекту [1], [2]. Тому сучасні міста сьогодні і потребують трансформації, серед концепцій зараз набирає популярність Smart City, концепція, що допоможе змінити ландшафти міст на більш енергоефективні та енергонезалежні.

Саме по собі Smart City (тобто розумне місто) — це концепція розвитку міст, що передбачає ефективне використання технологій для покращення якості життя та оптимізацію роботи міських систем. Smart City вдає із себе цілісну концепцію розумної інтеграції інформаційних і комунікаційних технологій для моніторингу та управління міською інфраструктурою. Мета таких заходів - поліпшити життя людей за допомогою підвищення рівня комфорту і безпеки, якості та ефективності обслуговування в різних сферах, оптимізації витрат на ряд інтенсивно експлуатованих ресурсів [3].

Спеціалісти з питань архітектури Mark Deakin та Husam Al Waer виділяють такі ознаки технології, яку можна віднести то Smart City - руху [4]:

- це має бути прикладна електронна або цифрова технологія, яка працює на міську громаду або місто;
- розробка може використовувати інформаційно-цифрові технології для трансформації житлових та робочих умов у регіоні;
- технологія може бути інтегрованою для покращення роботи місцевої влади;

- громада та міські спеціалісти можуть використовувати ці технології за територіальною ознакою для здобуття нових знань та початку інноваційного руху.

Загалом, існує 2 типи побудови таких «розумних» міст:

- *перший:* закладення принципів Smart City з нуля, тобто саме під час будівництва нового міста (можна часто побачити у концепціях міст ОАЄ тощо);
- *другий:* вже безпосередньо в урбанізовані квартали та модифікація існуючих енергосистем, будівель тощо.

Для міст нашої країни найкраще підходить другий випадок, хоча звісно він і набагато складніший, бо потребує модифікації вже існуючих систем, таких от як енергосистеми міст, які напряму вже пов'язані з забудовами та їхнє переоблаштування іноді потребує додаткового будівництва, що може іноді викликати проблеми.

Багато уваги та зацікавлення викликає Амстердам, який, до речі, входить у п'ятірку кращих «розумних міст» світу. Він розпочав smart-історію у 2009 році, коли влада зосередилася на проблемах збереження енергії та зменшення викидів CO_2, а з часом кількість напрямків зросла. Завдяки інноваційним підходам у багатьох сферах, Амстердам може похизуватися розвитком технологій, покращенням фінансових показників, рівня послуг і загального рівня культури [5].

Українські міста теж починають долучатись до цієї концепції розвитку. Наприклад, столична історія Kyiv Smart City розпочалась у 2015 році та активно змінює підходи в управлінні та реалізації сервісів. Запроваджено «Картку киянина», онлайн-петиції, запис на прийом до лікаря, запис дитини до закладів дошкільної освіти, забезпечено діяльність міської системи відеоспостереження з системою розпізнавання обличь, номерів автомобілів та багато іншого [5].

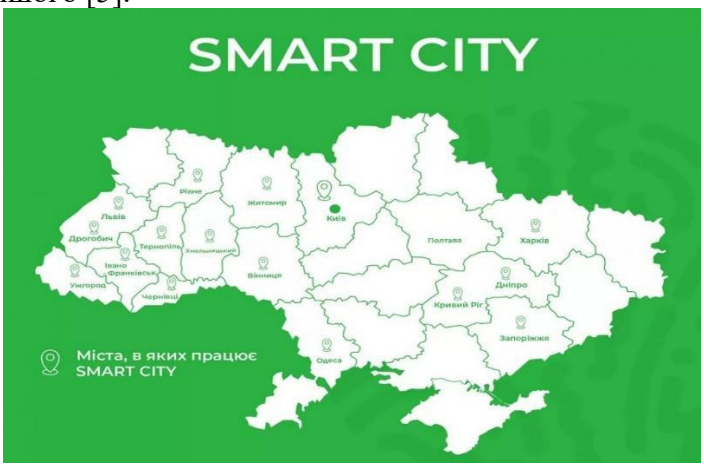


Рисунок 1 – Міста, в яких вже почато впровадження Smart City [5]

Чи не найголовніша частина побудови таких міст є новітні технології у енергетиці. Бо за відсутності електропостачання майже нічого з новаторства не буде працювати.

Однією з новітніх технологій у енергетиці є люмінісцентні сонячні концентратори (ЛСК/LSC), які здатні гармонійно поєднати архітектуру, функціональність і відновлювану енергетику. Вони можуть досягати на даний момент до 80% прозорості , що допомагає інтегрувати їх у вже існуючі фасадні рішення без значної шкоди для зовнішнього вигляду (надзвичайно корисно для різного роду архітектурних пам'яток). Також ще однією великою перевагою їх використання є можливість підключити до вже існуючих фотоелектричних систем без значних модифікацій. Таким чином, LSC стають надзвичайно привабливим рішенням для концепцій Smart City, тож давайте розглянемо їх детальніше.

Люмінесцентний сонячний концентратор (LSCs/ЛСК) - це пристрій для концентрації випромінювання, зокрема сонячного, з метою виробництва електроенергії. Люмінесцентні сонячні концентратори працюють за принципом збору випромінювання на великій площі, перетворення його за допомогою люмінесценції (зокрема, флуоресценції) і

спрямування згенерованого випромінювання у відносно невеликі фотоелектричні сонячні елементи на краях [6].

LSCs стали значним проривом науки ще з моменту їх створення в 1977 році, а їх активне дослідження почалося вже в 1980-х роках як заміна дорогим сонячним елементам. Коли у 2010-х роках вартість фотоелектрики (PV) значно знизилася дослідження знову набрали глобальних обертів.

Такі панелі є важливим кроком у порівнянні з традиційними сонячними батареями поглинають ультрафіолетове та інфрачервоне світло, які невидимі для людського ока, пропускаючи видиме світло. Це дозволяє їм вловлювати енергію, зберігаючи при цьому прозорість, необхідну для інтеграції в такі поверхні, як вікна чи фасади. Ці панелі розроблені, щоб бути непомітними, роблячи їх ідеально придатними для інтеграції в міську забудову, де естетика та використання простору є вирішальними [7].

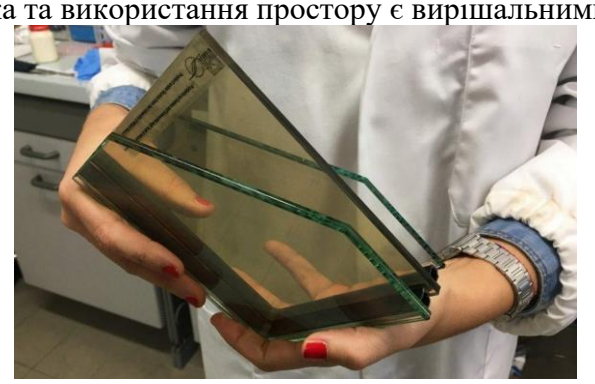


Рисунок 1 – Принциповий вигляд [8]

Наприклад, таким чином можна обладнати прозорі дахи на деяких будівлях, таких як вокзали або заводи, або обладнати теплиці, зробивши їх практично автономними.

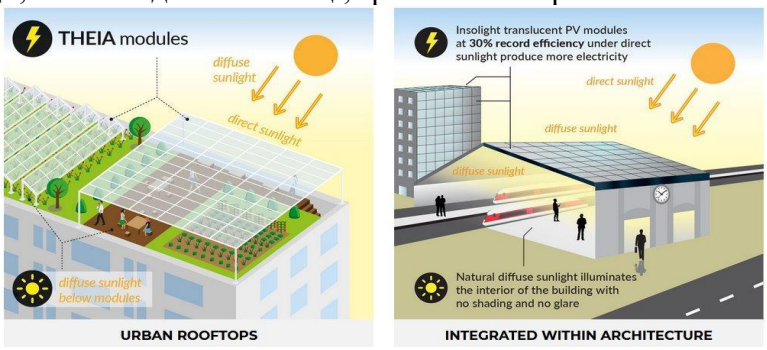


Рисунок 2 – Приклади такої інтеграції [9]

Таким чином, використання LSC змінює саму концепцію будівлі: вона вже не просто споживач енергії - вона стає її активним виробником. Це дозволяє значно зменшити споживання електроенергії з мережі, збільшити автономність приміщень та зменшити викиди CO_2. Але найголовніше, що це досягається без шкоди для зовнішнього вигляду, комфорту чи функціональності будівлі.

Також триває робота над інтеграцією прозорих сонячних панелей в екрани гаджетів, що дозволить заряджати пристрої безпосередньо під час використання, та над розробкою вікон для електромобілів, які можуть допомогти заряджати акумулятори електромобілів під час руху, зменшуючи потребу в додатковій зарядці.

Висновки.

LSC є достатньо прибутковими для подальшого дослідження. Фотоконверсія в LSC дозволяє налаштовувати їх для кращої відповідності характеристикам фотоелектричних систем і може відкрити нові перспективи для інноваційних ідей дизайну продуктів. Найважливіша стратегія для просування досліджень та застосування LSC у напрямку їх індустріалізації вимагатиме встановлення певних стандартів вимірювання їхньої продуктивності, як це було встановлено для фотоелектричних елементів. Створення

дорожніх карт щодо очікуваних характеристик для різних застосувань має сприяти їх промисловому впровадженню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олександр Федоткін Наслідки розвитку ШІ: ціни на електроенергію в США зросли до 36%, залежно від штату URL: https://itc.ua/ua/novini/naslidky-rozvytku-shi-tsiny-na-elektroenergiyu-v-ssha-zrosly-do-36-zalezhno-vid-shtatu/ (дата доступу 01.09.2025).
2. Jesus Mesa Eye-Popping Electric Bills Come Due as Price of AI Revolution URL: https://www.newsweek.com/ai-data-centers-why-electric-bill-so-high-2109965 (дата доступу 01.09.2025).
3. SMART CITY: ТЕХНОЛОГІЇ «розумного міста» ТА ЇХ ЦІЛЬОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ URL: https://eukraine.org.ua/ua/news/smart-city-tehnologiyi-rozumnogo-mista-ta-yih-cilove-priznachennya (дата доступу 06.09.2025).
4. Тарас Кайдан Що таке smart city: в світі та в Києві URL: https://hmarochos.kiev.ua/2015/07/22/shho-take-smart-city-v-sviti-ta-v-kiyevi/ (дата доступу 01.09.2025).
5. Що таке «Smart City» і як виглядає в українських реаліях? URL: https://www.prostir.ua/?news=scho-take-smart-city-i-yak-vyhlyadaje-v-ukrajinskyh-realiyah (дата доступу 01.09.2025).
6. Wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Luminescent_solar_concentrator (дата доступу 01.09.2025).
7. Germán Portillo Прозорі сонячні панелі: характеристики, переваги та недоліки URL: https://uk.renovablesverdes.com/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D1%80%D1%96-%D1%81%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D1%96-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%96/ (дата доступу 01.09.2025).
8. Прозорі сонячні батареї для вікон-електрогенераторів створені стартапом Glass to Power URL: https://ecotechnica.com.ua/uk/energy/solntse/prozrachnye-solnechnye-batarei-italyanskogo-startapa-stanut-osnovoj-okon-elektrogeneratorov (дата доступу 01.09.2025).
9. «Прозорі сонячні панелі з концентраторами з ККД 20,1% - новий продукт Insolight для агровольтаїки» URL: https://ecotechnica.com.ua/uk/energy/solntse/prozrachnye-solnechnye-paneli-s-kontsentratorami-s-kpd-20-1-novyj-produkt-insolight-dlya-agrovoltaiki (дата доступу 01.09.2025).

УДК 677.055

КОНВЕЄРНІ СИСТЕМИ У СКЛАДСЬКИХ ПРОЦЕСАХ: ТИПИ, ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ.

Носов О.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

В сучасних підприємствах на виробництві чи складських комплексах головним завданням є забезпечення безперервного та оптимізованого потоку сировини, матеріалів, продукції. Серед різноманітної кількості методів транспортування ключове місце займають конвеєрні системи. Даний метод транспортування об’єктів транспортування поєднує в собі високу продуктивність, надійність та можливість інтеграції в загальну систему автоматизованого управління складом (WMS).

Світова практика використання конвеєрних систем виділяє такі їх основні типи[1,2,4,5]:

- Стрічкові конвеєри – найбільш використовувані, універсальні, використовуються для переміщення як легкого так і важкого вантажу, сипучих матеріалів [7, 8].
- Роликові конвеєри – проста конструкція , ефективні при використанні в складних маршрутах транспортування, надійні.
- Ланцюгові конвеєри – відзначаються міцністю, та здатністю переміщати масивні матеріали.
- Пластинчасті конвеєри – міцні та універсальні, застосовують в дуже інтенсивних умовах виробництва.
- Телескопічні конвеєри – оптимальні для розвантажування, забезпечують економію простору.
- Ковшові конвеєри – використовують для сипучих важких матеріалів.
- Трубчасті конвеєри – транспортування матеріалів під тиском, вакуумі, придатні для транспортування агресивних речовин.
- Шнекові конвеєри – використовують для транспортування в'язких та сипучих матеріалів, можуть використовуватись для транспортування матеріалів під нахилом.
- Скребкові конвеєри – конвеєри адаптовані для транспортування абразивних матеріалів [1,2,4,5,6,9].

Таблиця 1 Типи конвеєрів

№	Тип конвеєра	Призначення	Особливості	Переваги
1	Стрічкові	Горизонтальне переміщення товарів	Стрічка рухається навколо двох барабанів; підходить для легких і важких вантажів, насипних матеріалів; можна обладнати сортуванням чи завантаженням	Висока продуктивність, легкість у використанні та обслуговуванні, універсальні для різних типів вантажів
2	Телескопічні	Розвантаження у вантажівки, контейнери	Розширюються/скорочуються, можуть виходити за межі складу	Швидке обслуговування, зменшують ризик травм, економлять місце
3	Ковшові	Транспортування сипучих важких матеріалів	Ковші кріпляться до стрічки або ланцюга для підйому вантажів	Висока продуктивність, мінімальне ручне втручання
4	Елеваторні	Вертикальне переміщення сипучих матеріалів	Вертикальні труби для переміщення зерна, цукру тощо	Збереження цілісності вантажу, ефективне використання простору, автоматизація
5	Трубчасті	Транспортування в умовах вакууму чи тиску	Закриті трубки, корисні для агресивних речовин	Безпечне транспортування небезпечних речовин, мінімізація втрат
6	Ланцюгові	Переміщення важких і дрібних об'єктів	Використовують ланцюг навколо барабанів, ідеально підходить для металургії й автоіндустрії	Велике навантаження, довговічність
7	Шнекові	Переміщення сипких і в'язких матеріалів	Гвинт-крутильний елемент рухає вантаж по шнеку	Ефективність, можливість нахилу для завантаження
8	Скребкові	Транспортування абразивних матеріалів	Ланцюги з прикріпленими скребками переміщують матеріал	Висока міцність, довговічність, адаптація для агресивного середовища
9	Пластинчасті	Переміщення важких, габаритних предметів	Металеві пластини транспортують великі вантажі	Перенос великих навантажень, можна додати обробку вантажу
10	Підйомні	Підйом вантажів на висоту та подальше опускання	Системи ланцюгів або стрічок для вертикального руху	Ефективне використання вертикального простору, контроль руху
11	Роликові	Транспортування вантажів на відстань, з легким поворотом	Ролики, що рухають вантаж; зручні для складних маршрутів	Гнучкість руху, надійність, довгий ресурс
12	Поворотні	Зміна напрямку руху вантажів	Механізми для повороту під кутом на вузьких ділянках	Ефективність у вузьких просторах, автоматизація поворотів

Різноманіття конвеєрних систем дозволяє підібрати оптимальний варіант для підприємства в залежності від характеристик продукції та умов експлуатації.

Висновки:

Конвеєрні системи є базовим методом транспортування продукції, матеріалів в сучасних світових виробничих, складських комплексах. Вони дозволяють забезпечити швидкість, та стандартизацію логістичних процесів.

Проведений аналіз конвеєрних систем демонструє , що кожен тип має власні технологічні особливості використання. Вибір конкретного типу транспортування залежить від характеристик вантажу, матеріалів, продукції, умов експлуатації та рівнем автоматизації. Використання конвеєрів сприяє оптимізації робочого простору, зменшенню витрат часу на процеси транспортування, та підвищенню ефективності логістичних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Konsort. Типи та види конвеєрів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://konsort.com.ua/typy-ta-vydy-konveyeriv/

2. Conveyor Systems – Overview. Wikipedia. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Conveyor_system

3.І.І. Павелко, В.А. Мажара (2010 р.) Роботизовані технологічні комплекси // КНТУ, м. Кіровоград.

4. Ковальов Ю.А. Аналіз об’єктів транспортування в логістичних системах взуттєвого виробництва / Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Лавренчук В.І. – Київ : Легка пром-сть. – 2016. – №2. – С. 25-27.

5.Ковальов Ю.А. Огляд та аналіз сучасних пристроїв для перевантаження об’єктів транспортування / Ковальов Ю.А., Плешко С.А. – Київ : Легка пром-сть. – 2017. № 1. – С. 21-29.

6. Amazon Robotics. How Amazon Uses Robots to Sort and Transport Packages [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.businessinsider.com/how-amazon-uses-robots-sort-transport-packages-warehouses-2025-2

7. Коруняк П. С., Баранович С. М., Вечерік-Дриженко В., Оліфер О. Підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агроінженерні дослідження. – 2014. – №18(2). – С. 91–96.

8. Левчук К., Противень О. Огляд конструкцій конвеєрів для переміщення сипких матеріалів // Науковий вісник будівництва (КНУБА). – 2019. – Т. 97, №1. – С. 82–87.

9. Каталог наукової періодики України (НБУВ). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/

УДК 681.518

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ АПАРАТУРОЮ УПРАВЛІННЯ ШАХТНИМ КОНВЕЄРОМ

[1]Жеребцов О.А., [1]Закатов О.Д., [2]Василенко Є.В.
[1]Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій
[2]ПАТ «Інжинірингова компанія «ДІГ»

У сучасних умовах інтенсивної експлуатації гірничо-шахтного транспорту зростає потреба у створенні надійних автоматизованих систем керування [1]. Стрічкові конвеєри є основним засобом транспортування вугілля та породи в шахтах. Їхня ефективна та безпечна робота безпосередньо залежить від якості програмного забезпечення та апаратури управління [2]. Метою роботи стало створення програми керування апаратурою рудникового конвеєрного транспорту на базі програмованого логічного контролера (PLC) з інтеграцією в існуючу апаратуру управління конвеєром АУРТ-К від «Інжинірингової компанії «ДІГ» (рис. 1) [3].

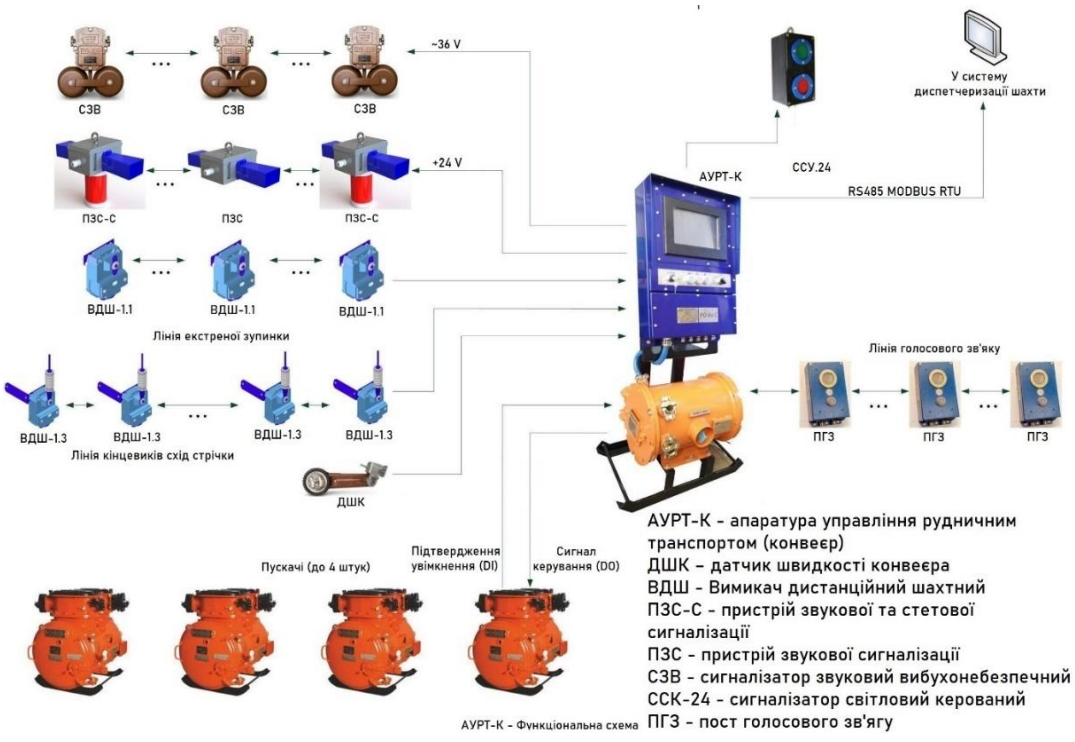


Рисунок 1 – Функціональна схема апаратури

Апаратура забезпечує керування конвеєром із дотриманням усіх вимог передпускової сигналізації та контролю. Вона підтримує підключення як сучасних світлозвукових пристроїв УЗС-С, так і традиційних сигналізаторів СЗВ, а також керування чотирма пускачами в різних режимах. Передбачена робота з кабель-тросовими вимикачами (КТВ) та кінцевими вимикачами сходу стрічки (КСЛ). Апаратура легко інтегрується в існуючі конвеєрні лінії, сумісно працює з апаратурою АУК та може бути підключена до шахтної системи моніторингу, віддаленого керування і передачі діагностичної інформації.

Однією із поставлених задач став вибір контролера, що зумовлено необхідністю забезпечення високої надійності й гнучкості системи, для майбутніх розширень функціоналу апаратури. Було обрано модель Modicon M241 (TM241CE24R) (рис. 1) від відомої французької енергомашинобудівної компанії Schneider Electric завдяки оптимальному співвідношенню вартості до обчислювальної потужності, широким комунікаційним можливостям (Ethernet, RS-232/485, CANopen), підтримці міжнародного стандарту IEC 61131-3 в тому числі підтримки мови Structured Text. Крім того, контролер має достатній обсяг пам'яті, інтегровані релейні виходи та вбудовані засоби для роботи з протоколом Modbus RTU, що забезпечує просту інтеграцію у шахтні системи моніторингу та обміну між блоками апаратури [4].



Рисунок 2 – Контролер Modicon M241 TM241CE24R

Для програмування контролера серії Modicon M241 використовуються середовище розробки Machine Expert яка в свою чергу э адаптованою версію Codesys V3.5. Розробка алгоритму можливо і на «чистому» codesys v3.5 якщо встановити всі потрібні бібліотеки та target–файлами, но при цьому у розробника не буде можливості використовувати утиліти для оновлення прошивки контролерів та інших корисних інструментів для роботи з ними.

З переваг Machine Expert у порівнянні з CODESYS V3.5 можна відзначити «тісну» інтеграцію з обладнанням Schneider Electric, зокрема з апаратними платформами Modicon M221, M241, M251, M262. Machine Expert підтримує автоматичне налаштування комунікаційних параметрів. Платформа володіє широким набором вбудованих бібліотек готових функціональних блоків для обладнання Schneider, таких як Altivar, Lexium, датчики, ПЧ тощо, що дозволяє швидше та простіше розробляти системи на базі Schneider Electric.

Також забезпечується підтримка та глибока інтеграція промислових комунікаційних технологій, таких як IIoT, MQTT та OPC UA. У системі реалізовані розширені інструменти трасування та аналізу продуктивності під час роботи контролера.

На рисунку 3 представлено діаграма прецедентів розробляємого програмного комплексу.

Працівник шахти (актор) може налаштовувати, керувати конвеєром і відстежувати стан апаратури. У налаштування обладнання входять такі функції: конфігурація датчиків КТВ, загальне налаштування параметрів, установка часу і налаштування мережевих параметрів. Всі ці підфункції містять можливість збереження параметрів. Крім того, оператор може керувати конвеєром як у дистанційному, так і в локальному режимі. Локальний режим включає керування в сервісному режимі.

Також актор має можливість відстежувати стан аварій, швидкість руху конвеєра і наявність зв'язку з блоками системи.

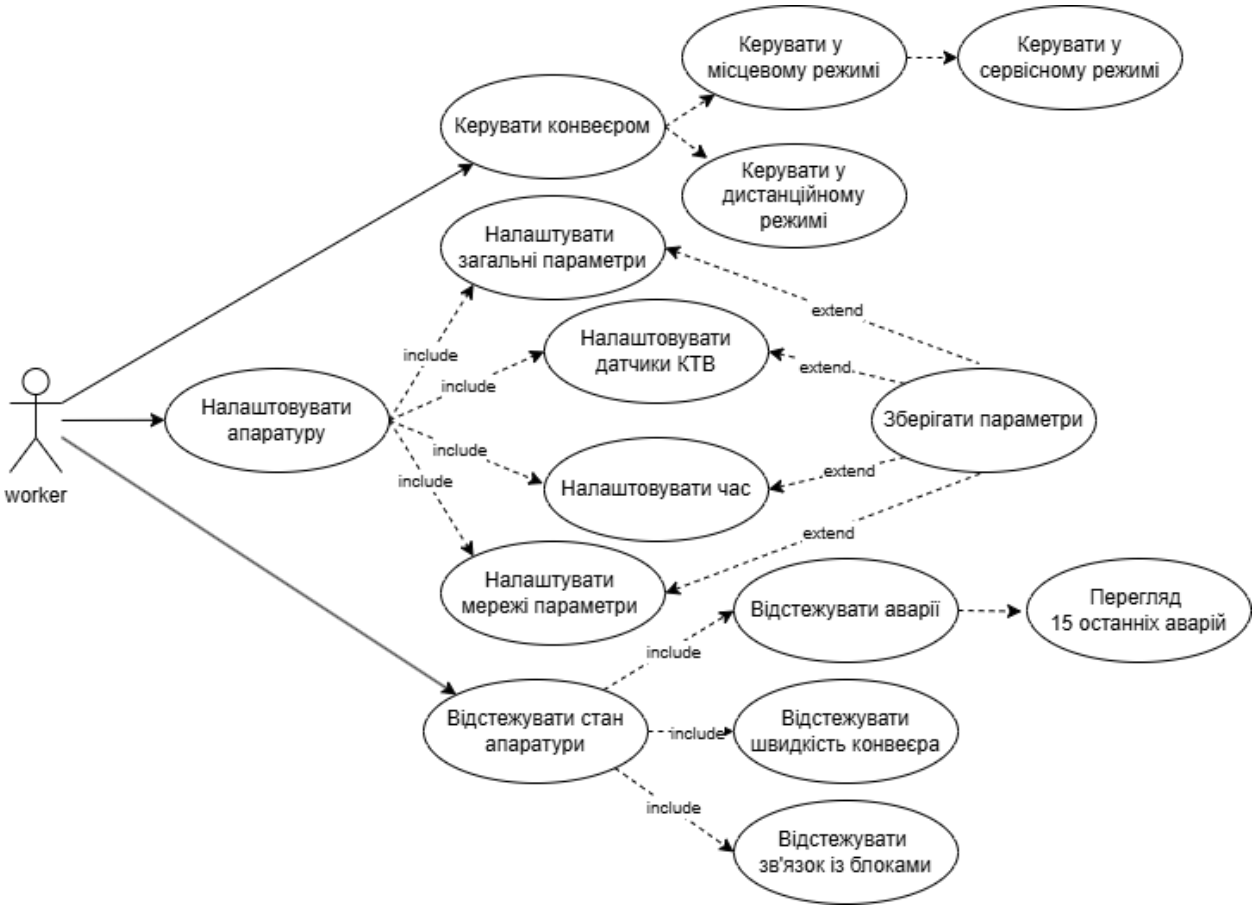


Рисунок 3 – Діаграма прецедентів програми керування АУРТ-К

Однак діаграма прецедентів не відображає структуру самої програми. З цієї причини виникла необхідність у моделюванні її внутрішньої структури, яка представлена на рисунку 4.

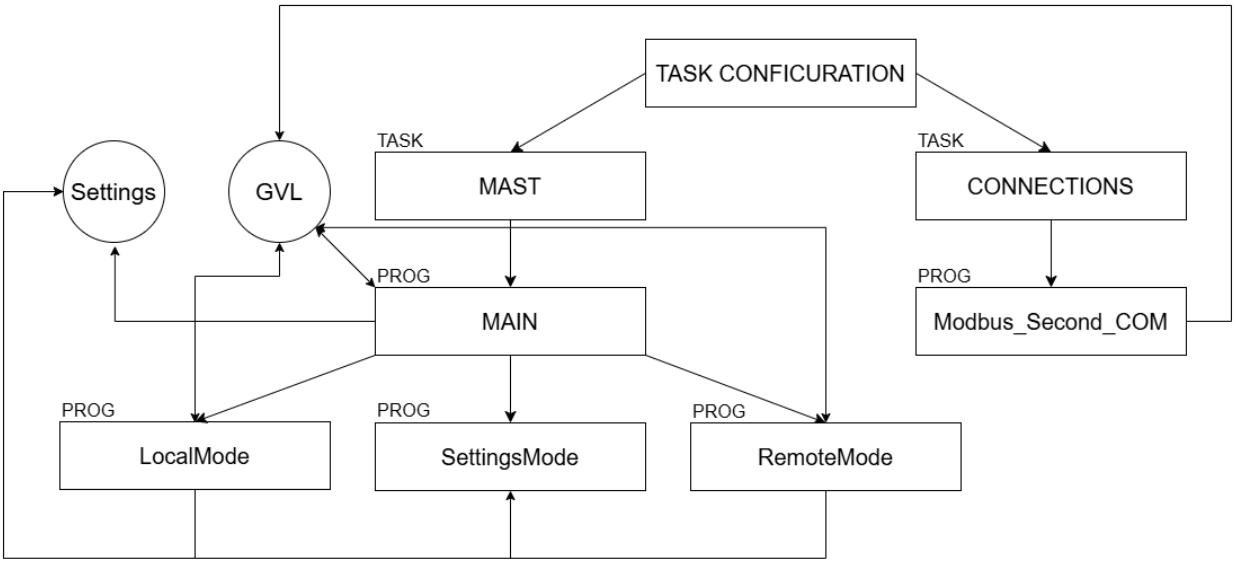


Рисунок 4 – Модель програми керування АУРТ–К

З рисунку 4 видно, що програма складається з двох завдань (Task). Завдання являють собою групи секцій і підпрограм, які контролюють виконання функціональних модулів (POU).

У свою чергу Task Configuration дозволяє визначити, як і коли виконуються різні частини програми PLC. Це важливо для забезпечення коректного часу відгуку, високої продуктивності і передбачуваності роботи контролера.

Існує чотири типи завдань:

– Cyclic - виконується через задані інтервали часу. Для таких завдань бажано встановлювати високий пріоритет. В іншому випадку, якщо в програмі є завдання іншого типу, наприклад, Freewheeling, але з більш високим пріоритетом, Cyclic-завдання може взагалі не викликатись.

– Event - виконується при спрацьовуванні заданої події (тригера).

– Freewheeling - завдання, яке запускається разом з програмою і виконується циклічно без часових обмежень. Воно переривається тільки при виникненні переривання або якщо довгий час не виконувалося завдання з більш високим пріоритетом.

– External Event - активується при настанні призначеної системної події, наприклад, при зміні стану вбудованого входу.

Завдання можуть бути запущені як за перевищенням часу очікування, так і за внутрішніми або зовнішніми подіями. Порядок їх виконання визначається комбінацією пріоритету і поточного стану завдань.

Всі завдання налаштовуються в розділі Task Configuration. Він дозволяє задати, як і коли будуть виконуватися різні завдання проекту.

Така конфігурація забезпечує максимальну швидкість відгуку програми, що особливо важливо при управлінні конвеєром.

Самі завдання містять підпрограму Main, яка є основною точкою входу. У ній реалізовані виклики інших програм, що відповідають за управління в різних режимах: LocalMode, SettingsMode і RemoteMode. Також ця програма відповідає за частину візуалізації: розрахунок швидкості конвеєра, визначення спрацювання датчика КТВ і багато іншого.

Крім того, на рисунку 4 представлені два глобальних простори імен: GVL і Settings. У них зберігаються змінні, доступні з будь-якої частини програми. У просторі Settings знаходяться енергонезалежні змінні, що відповідають за параметри налаштування апаратури, і які повинні навіть після відключення живлення. В свою чергу у просторі GVL розміщені змінні загального призначення, які використовуються в різних частинах програми, наприклад буфери для регістрів Modbus.

Для налаштування та керування апаратури використовується органи керування які знаходяться на панелі ПІМ (рис. 5) та які підключаються до блоку БВВ для зчитування дискретних сигналів з них [5].



Рисунок 5 – Органи керування апаратурою

Головним органом керування є перемикачем режимів роботи апаратури який має три положення, а саме:

– «МІСЦЕВ.» – положення яке переводить апаратуру в місцевий режим роботи;

– «НАЛАШТУВАННЯ» – положення яке переводить апаратуру в режим налаштування;

– «ДИСТ.» – положення яке переводить апаратуру в дистанційний режим роботи.

Режим налаштування відповідає за параметризацію та конфігурування апаратури. У цьому режимі конвеєр не працює.

Дистанційний режим відповідає за керування конвеєром по лінії 1–2 або по лінії Modbus, залежно від налаштувань мережевих параметрів. Місцевий режим роботи, своєю чергою, відповідає за роботу однієї конвеєрної стрічки.

Інтерфейс взаємодії з користувачем через відповідні екрани панелі оператора ОВЕН СП300 було створено за допомогою програмного забезпечення «Конфігуратор СП300» [6]



Рисунок 6 – Інтерфейс взаємодії з користувачем у місцевому та дистанційному режимах

Висновки. Розроблено алгоритм роботи системи, виконано конфігурацію PLC та налагодження зв'язку за протоколом Modbus, створено інтерфейс оператора з індикацією аварійних повідомлень, підтверджено ефективність інтеграції з системами моніторингу. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені у шахтних підприємствах України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Транспортно-складська логістика гірничих підприємств: навч. пос. / За ред. В.О. Будішевського, Л.Н. Ширіна. – Д.: Національний гірничий університет 2010. – 433 с. ISBN 978-966-350-070-6

2. Habli I., Hawkins R., Kelly T. Software safety: relating software assurance and software integrity // Int. J. Critical Computer-Based Systems. — 2010. — Vol. 1, No. 4. — Pp. 364–383.

3. Інжинірингова компанія «ДІГ». Апаратура управління конвеєром АУРТ-К [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.deg.com.ua/catalog/product/aparatura-upravlinnja-konveierom-aurt-k/ (дата звернення: 27.08.2025).

4. Modicon M241 Logic Controller. Hardware Guide [Електронний ресурс]. – Schneider Electric, 01 Dec 2024. – Режим доступу: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=M241-Hardware-Guide-EN-EIO0000003083-06.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000003083 (дата звернення: 27.08.2025)

5. Закатов О.Д. Модернізація дослідницького стенду для програмування системи управління конвеєром // Збірник тез учасників XXVI Науково-практичної конференції здобувачів освіти ЗІЕІТ (Запоріжжя, 05 грудня 2024 р.). – Запоріжжя : ЗІЕІТ, 2024. – С. 83.

6. Сенсорна панель ОВЕН СП 3XX. Настанова щодо експлуатування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aqteck.ua/uploads/130/re_oven_sp3hh_2-uk-94490-1.4_a4.pdf (дата звернення: 27.08.2025).

УДК 681.53:655.3:004.9

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИМ ВИРОБНИЦТВОМ У ЦИФРОВІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ ІНДУСТРІЇ 4.0

Пановик У.П., Боровець А.А., Паньонтко Д.О.
Національний університет «Львівська політехніка»

Сучасні поліграфічні виробництва працюють у режимі високої продуктивності, коли друкарські машини виконують десятки тисяч відбитків на годину. За таких умов навіть незначні відхилення у параметрах процесу, зокрема в'язкості фарби, точності подачі аркушів, тиску між валами чи стабільності кольоропередачі, швидко накопичуються і призводять до значного браку. Найпоширенішими проблемами є нестабільність фарбопередачі, що змінює колірний тон від тиражу до тиражу; похибки реєстрації аркушів, які спричиняють зсув зображення; нерівномірність тиску та температури у друкарському апараті, що погіршує чіткість друку; а також запізнілий ручний контроль, коли дефекти виявляються лише після їх виникнення, що збільшує втрати та витрати на виправлення. Традиційні методи калібрування та контролю в поліграфії, які базуються на періодичному вимірюванні та корекції, не відповідають вимогам Індустрії 4.0 [1, 2]. Вони є трудомісткими й недостатньо точними для забезпечення стабільності процесу в умовах багатотиражного та високошвидкісного друку. Отже, проблема полягає в забезпеченні безперервного контролю та автоматизованої корекції параметрів друкарської машини у реальному часі. Для її вирішення потрібні інтегровані мехатронні системи, що поєднують розумні сенсори, алгоритми самокалібрування та автоматизовані приводи.

Ефективним способом розв'язання проблем поліграфічного виробництва є створення автоматизованої системи керування друкарською машиною на основі розумних сенсорів і технологій Metrology 4.0. Така система функціонує у замкненому контурі, поєднуючи вимірювання, аналіз і автоматичну корекцію параметрів. Ключову роль відіграють сенсори реального часу, зокрема датчики в'язкості фарби з автоматизованим калібруванням для стабільної кольоропередачі, сенсори тиску й температури для контролю контакту валів, а також кольориметричні датчики (X-Rite eXact, Konica Minolta CR-400/410, Techkon SpectroDens, Heidelberg Inpress Control), що вимірюють колір у просторі CIE Lab чи Pantone.

Принцип дії системи полягає в тому, що дані сенсорів надходять у контролер (PLC або SCADA-систему), де здійснюється їх первинна обробка та перевірка коректності через механізм самокалібрування. На основі цих даних система формує керуючі сигнали для приводів і регуляторів: змінюється подача фарби, коригується тиск між валами або регулюється температура. Робота автоматизованої системи керування друкарською машиною будується за принципом замкненого контуру, де сенсори, блок обробки даних та виконавчі механізми взаємодіють у реальному часі. У процесі роботи кольориметричні датчики здійснюють вимірювання кольорових характеристик відбитків, сенсори в'язкості контролюють реологічні властивості фарби, а датчики тиску та температури фіксують умови у зоні друку. Отримані дані проходять первинну обробку, під час якої здійснюється

автоматизоване калібрування сенсорів відповідно до концепції Metrology 4.0, що гарантує точність вимірювань незалежно від зовнішніх впливів. Далі інформація надходить у контролер (PLC або SCADA-систему), де виконується аналіз параметрів та їх порівняння з еталонними значеннями й допусками. Якщо виявляються відхилення, система формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів: регулює подачу фарби, температуру або тиск у друкарському апараті. Після внесення корекцій сенсори повторно зчитують параметри й передають їх у систему для перевірки. Якщо значення відповідають нормі, друкарський процес продовжується у стабільному режимі, а якщо відхилення зберігаються — запускається новий цикл аналізу й корекції. Такий алгоритм забезпечує безперервний самоконтроль і самоналаштування друкарської машини, мінімізує вплив людського фактору та гарантує стабільність якості продукції на рівні міжнародних стандартів.

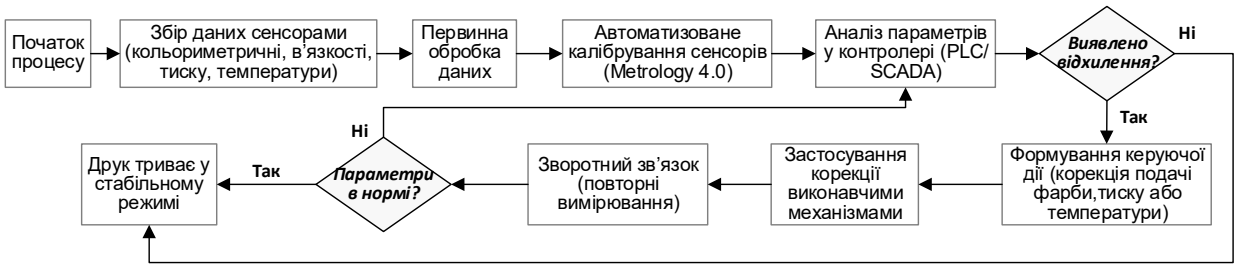


Рисунок 1 – Алгоритм автоматизованого керування друкарською машиною з використанням розумних сенсорів та автоматизованого калібрування

Запровадження автоматизованої системи керування друкарськими машинами на основі розумних сенсорів і концепції Metrology 4.0 забезпечує зменшення браку завдяки реакції на відхилення параметрів ще до їхнього видимого впливу на якість друку. Це скорочує витрати паперу, фарби та інших матеріалів, що дає прямий економічний ефект. Важливим результатом є також стабільність і повторюваність кольоропередачі протягом усього тиражу: автоматичне регулювання в'язкості, температури та тиску гарантує відбитки однакової якості відповідно до міжнародних стандартів поліграфії [3]. Інтеграція сенсорів у єдиний цифровий контур керування забезпечує прогнозоване управління, коли система не лише усуває поточні відхилення, а й передбачає їх появу. Це підвищує надійність обладнання, знижує ризик аварійних зупинок і гарантує безперервність виробництва. Одночасно скорочується час налаштувань і зменшується роль людського фактора: оператор переходить від рутинних регулювань до функцій моніторингу й контролю, що підвищує продуктивність та зменшує кількість помилок.

Отже, впровадження автоматизованого керування друкарськими машинами на основі сенсорів і автоматичного калібрування є важливим кроком до формування «розумного поліграфічного виробництва», що відповідає принципам Індустрії 4.0 та відкриває можливості для подальшої цифрової трансформації галузі.

Висновки. Впровадження автоматизованих систем керування друкарськими машинами із застосуванням розумних сенсорів та методів Metrology 4.0 змінює підхід до контролю поліграфічних процесів: замість періодичного операторського контролю забезпечується безперервний моніторинг параметрів у реальному часі, автоматичне калібрування та своєчасна корекція роботи механізмів. Це знижує рівень браку, стабілізує кольоропередачу, скорочує витрати ресурсів і гарантує відповідність міжнародним стандартам. Технічно такий підхід формує основу для розумних друкарських комплексів, інтегрованих у цифрову інфраструктуру Індустрії 4.0, і є одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасної поліграфії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cunha K., Santos R. The Reliability of Data from Metrology 4.0. *International Journal on Data Science and Technology*. 2020. Vol. 6, no. 4. P. 66. URL https://doi.org/10.11648/j.ijdst.20200604.11
2. Пановик У. П., Хідей Р. В., Богоніс О. О. Інтегровані системи метрології в Індустрії 4.0. *Наук. Записки*. 2024. № 1(68). С. 71–82.
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. [Чинний від 01.07.2019]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 42 с.

УДК 004.8:681.518

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ

Пановик У.П., Пановик Р.Р., Гідей Р.В.
Національний університет «Львівська політехніка»

Сучасні автоматизовані інформаційні системи (АІС) – від промислових комплексів керування до освітніх платформ – характеризуються високою складністю архітектури, багатофункціональністю та великою кількістю взаємопов'язаних сервісів. Зростання навантаження, потреба в інтеграції з іншими цифровими середовищами та очікування користувачів щодо безперервної роботи висувають нові вимоги до якості таких систем. Традиційні методи тестування, що зосереджені на перевірці модулів програмного коду чи навантажувальних випробуваннях, є недостатніми для комплексної оцінки. Вони не враховують динаміку змін під час реальної експлуатації, не дозволяють оперативно виявляти приховані аномалії та не забезпечують прогнозування можливих відмов.

У цих умовах все більшої актуальності набувають інтелектуальні методи тестування та моніторингу, засновані на штучному інтелекті. AI-технології дають змогу автоматично аналізувати якість програмного коду, здійснювати моніторинг роботи окремих компонентів у режимі реального часу, виявляти відхилення у поведінці системи та формувати комплексні показники ефективності [1]. Крім того, застосування штучного інтелекту створює можливість інтегрувати технічні метрики роботи системи з показниками ефективності основного процесу – виробничого або освітнього. Це дозволяє оцінювати не лише коректність роботи програмного забезпечення, але й фактичний вплив платформи на досягнення поставлених цілей. Отже, актуальність проблеми полягає у необхідності переходу від класичних підходів до тестування до інтелектуального моніторингу й оцінки якості, що забезпечує надійність, масштабованість і адаптивність сучасних інформаційних систем.

Якість програмного коду визначає надійність і довговічність будь-якої АІС. У традиційних підходах контроль здійснюється через статичний аналіз (перевірка стилю, синтаксису, структурних помилок) та динамічне тестування (unit-тести, інтеграційні тести). Проте в умовах масштабних платформ із десятками тисяч рядків коду та великою кількістю взаємодіючих модулів цього недостатньо. Застосування штучного інтелекту у процесі тестування коду дозволяє значно розширити спектр контролю [2]. AI-алгоритми здатні виявляти неочевидні залежності, що можуть призвести до збоїв, аналізувати складність алгоритмів і прогнозувати потенційні «вузькі місця» ще на етапі розробки. Наприклад, системи на основі глибинного навчання здатні класифікувати код за рівнем

ризику, а інструменти на зразок *DeepCode* або *SonarQube з AI-модулем* виявляють уразливості, які складно ідентифікувати вручну.

Крім якості коду, важливим завданням є моніторинг усіх складових платформи у реальному часі. Це стосується модулів бази даних, API-сервісів, інтерфейсів користувача та комунікаційних протоколів. Використання AI-методів anomaly detection дає змогу автоматично відслідковувати нетипову поведінку компонентів: затримки у відповіді сервера, підвищене навантаження на процесор чи пам'ять, збої у роботі мережі [3]. Отже, у рамках тестування якості коду та моніторингу складових формується багаторівнева система контролю:

- базовий рівень – класичні unit-тести й статичний аналіз;
- інтелектуальний рівень – AI-аналіз якості коду та прогнозування помилок;
- експлуатаційний рівень – автоматичний моніторинг компонентів у режимі реального часу з виявленням аномалій.

Поєднання цих підходів створює основу для підвищення стабільності роботи системи, зменшення ризику відмов та скорочення витрат на подальше обслуговування.

Оцінка ефективності АІС не може обмежуватися лише якістю коду чи стабільністю окремих модулів. Важливим завданням є комплексне тестування метрик продуктивності, надійності, масштабованості та безпеки, які визначають здатність платформи стабільно функціонувати у реальних умовах експлуатації.

1. *Продуктивність***.** Штучний інтелект застосовується для аналізу логів і потокових даних, що відображають час відгуку системи, швидкість виконання запитів, затримки при високому навантаженні. ML-моделі можуть будувати прогностичні сценарії деградації продуктивності, дозволяючи вчасно оптимізувати архітектуру чи ресурси серверів.
2. *Надійність***.** AI-алгоритми anomaly detection виявляють приховані закономірності у роботі системи, які свідчать про можливі відмови. Це може бути зростання кількості помилок у запитах до бази даних, збої у роботі сервісів чи нерівномірне використання пам'яті. Завдяки цьому адміністратори отримують попереджувальні сигнали ще до виникнення критичної ситуації.
3. *Масштабованість***.** За допомогою інтелектуальних симуляцій проводяться віртуальні навантажувальні тести, що дозволяють оцінити поведінку платформи при зростанні кількості користувачів або обсягу даних. Алгоритми прогнозують межу стабільної роботи системи, що важливо при плануванні її розвитку.
4. *Безпека***.** Використання AI дає змогу аналізувати трафік у реальному часі, виявляти підозрілу активність, brute-force атаки, SQL-ін'єкції чи аномальні шаблони поведінки користувачів. Це підвищує рівень кіберзахисту платформи та дозволяє динамічно оновлювати правила безпеки.

Отже, тестування метрик роботи платформи із залученням ШІ перетворюється з разової процедури на безперервний інтелектуальний моніторинг, що забезпечує високу адаптивність системи та її готовність до зростаючих вимог користувачів.

Оцінка якості інформаційної системи має враховувати не лише технічні характеристики її функціонування, але й фактичний вплив на основний процес – виробничий чи освітній. Для цього доцільно поєднати аналітику системних показників із методами інтелектуального аналізу даних користувацької активності.

1. *Learning / Process Analytics***.** У випадку освітнього середовища аналізується: середній час виконання завдань, частота входів у систему, активність у форумах, динаміка результатів тестувань. У промислових системах — активність операторів, кількість відмов, швидкість реагування на події. Алгоритми ШІ дозволяють будувати профілі користувачів і виявляти закономірності, що впливають на загальну ефективність.
2. *Прогнозування ефективності***.** Використання моделей машинного навчання (наприклад, регресійних алгоритмів чи LSTM-мереж) дає можливість оцінювати, які фактори системи найбільше впливають на успішність навчального процесу або

стабільність виробничого циклу. Це відкриває шлях до індивідуалізації управління: система може пропонувати адміністраторам оптимальні сценарії роботи.

3. *User Experience (UX).* Якість взаємодії користувачів із системою є критичною. Автоматизований збір відгуків і застосування AI-сентимент-аналізу дозволяють виявляти рівень задоволеності та проблемні місця інтерфейсу. Це формує основу для адаптивного UX-дизайну та підвищує лояльність користувачів.

4. *Інтегральна метрика якості***.** Поєднання технічних параметрів (продуктивність, надійність, безпека) з освітніми або виробничими показниками формує інтегральну метрику. Ця метрика може обчислюватися автоматично за допомогою ШІ, відображаючи реальний внесок системи у досягнення стратегічних цілей.

Відтак, оцінка якості системи з використанням штучного інтелекту забезпечує комплексний підхід: від аналізу роботи коду та інфраструктури до оцінки впливу на кінцевого користувача й результативність процесу. Це створює науково обґрунтовану основу для впровадження та подальшого вдосконалення інформаційних систем у сфері освіти та промисловості.

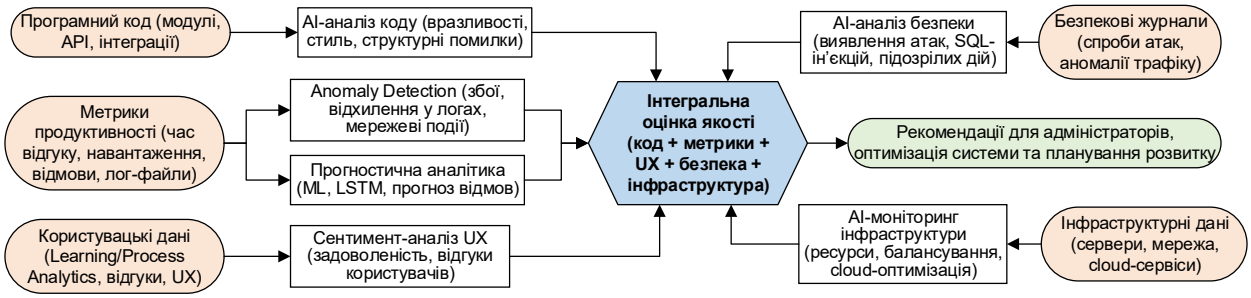


Рисунок 2 – AI-модуль тестування та оцінки якості інформаційної системи

Впровадження штучного інтелекту у процеси тестування та оцінки якості АІС забезпечує досягнення низки важливих результатів. Передусім це автоматизація тестування і моніторингу, що дозволяє зменшити кількість людських помилок, скоротити час на перевірку коду та аналіз логів, а також підвищити ефективність роботи команди підтримки. Наступним є прогнозування відмов і деградації системи: завдяки використанню моделей машинного навчання та методів прогнозної аналітики система здатна своєчасно виявляти критичні тенденції та попереджати аварійні ситуації ще до їх фактичного виникнення. Важливим аспектом є також об'єктивна оцінка ефективності впровадження, що досягається шляхом інтеграції технічних метрик – продуктивності, надійності, безпеки – з показниками користувацького досвіду, зокрема Learning/Process Analytics, що дає змогу формувати комплексні індикатори якості. Додатково створюється інтелектуальний контур підтримки прийняття рішень, у межах якого AI-система автоматично генерує рекомендації для адміністраторів та керівництва, допомагаючи обирати оптимальні сценарії розвитку й удосконалення платформи. У результаті формується самоадаптивна інформаційна система, здатна працювати в умовах зростаючих вимог до надійності, масштабованості та зручності використання.

Висновки. Використання штучного інтелекту у тестуванні та оцінці якості АІС забезпечує перехід від традиційного контролю до інтелектуального моніторингу й прогнозної аналітики. AI дозволяє автоматизувати перевірку коду, здійснювати моніторинг ключових компонентів у реальному часі, тестувати продуктивність, надійність і безпеку з елементами прогнозування та формувати інтегральні метрики ефективності. Завдяки цьому системи стають самоадаптивними, здатними до випереджувального управління: в освіті це означає підвищення якості навчального процесу, у промисловості – стабільність виробництва й зменшення ризиків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bussa S. Artificial Intelligence in Quality Assurance for Software Systems. *Stallion Journal for Multidisciplinary Associated Research Studies*. 2023. Vol. 2, no. 2. P. 15–26. URL:https://doi.org/10.55544/sjmars.2.2.2.
2. Kolawole I., Osilaja A. M., Essien V. E. Leveraging Artificial Intelligence for Automated Testing and Quality Assurance in Software Development Lifecycles. *International Journal of Research Publication and Reviews*. 2024. Vol. 5, no. 12. P. 4386–4401. URL: https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1224.250142.
3. Пановик У., Гідей Р. Математичне моделювання процесу агрегації та обробки вимірювальної інформації в автоматизованих метрологічних системах моніторингу. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах,* 2025. 82(2), с. 37–44. URL: https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-6

УДК 621.55

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЇ В СУЧАЧНОМУ АДИТИВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Катріч С.Г., Дмитрієв Д.О.
Херсонський національний технічний університет

У сучасному машинобудуванні дедалі більше уваги приділяється адитивним технологіям, які надають універсальну можливість виготовлення деталей складної геометрії з високими вимогами до точності та якості. Забезпечення високих параметрів якості, особливо для виготовлення складних форм неможливо без використання інтелектуальних 3D-принтерів, які б поєднували можливості самонавчання, багатофункціональності, автоматизованого контролю якості та можливості додавати додаткові елементи в автоматичному режими.

Проте існуючі системи 3D-друку часто обмежені однією друкарською головкою та недостатньою інтеграцією допоміжних пристроїв та інтелектуальних технологій, що ускладнює формування виробів із підвищеними вимогами до якості. В сучасній науковій літературі існують технічні рішення спрямовані на комплексне поєднання інтелектуальних технологій і роботизованих 3д комплексів [1]. Також відомий багатоцільовий свердлильно-фрезерний верстат з розширеними функціональними і технологічними властивостями за рахунок оптимальної робочої області з наявністю кількох виконавчих органів, що працюють в спільній робочій зоні [2]. Багатоцільовий верстат містить: несучу нерухому частину у вигляді каркасу з вертикальними і нахиленими стійками, осі стійок каркаса паралельні, перехрещені або мають спільні точки перетинання на нижній і верхній основі; штанги постійної або керовано-змінної довжини, одні кінці яких з'єднані через шарніри з повзунами механізмів поступального руху, а другі - з рухомою платформою, на якій розташований виконавчий орган (ріжучий інструмент, лазер, зварювальна головка, плазмотрон або сопло для гідроструменевої обробки) при цьому механізми поступального руху монтуються як на стійки просторового каркаса, так і в площині між осями стійок.

До основних недоліків такого обладнання є те, що принтер має один рухомий робочій орган для друку та додаткові інші рухомі пристрої керованого впливу з окремими робочими зонами, які мають лише часткове перетинання в області укладання шарів, що обмежує технологічні можливості при формуванні складних виробів і рельєфних поверхонь та не виключає можливості виникнення недосяжних для виправлення поза спільної робочої зони дефектів на виробі.

Метою дослідження є вдосконалення кінематичних та функціональних властивостей 3D-принтера шляхом об'єднання кількох локальних робочих органів у спільній робочій зоні з можливістю керованого впливу на процес формування шарів.

Вирішення поставленої задачі досягається за рахунок використання несучого просторового каркасу, на вертикальних стійках якого розміщені приводи поступального руху шарнірно-зв'язані з рухомою платформою, де розташовано друкарську головку для її позиціювання в робочій зоні, застосування в кінематичній схемі окремої рухомої уздовж вертикальних стійок каркасу кільцевої напрямної в поперечному перетині каркасу з розташованими на ній приводами поступового руху уздовж кільцевої напрямної, що через власні шарнірно-з'єднані штанги постійної довжини позиціонують локальний пристрій підігріву/охолодження та маніпулятор з захоплювачем на окремих рухомих механізмах, що дає можливість обходу деталі на 360 градусів та вертикального руху уздовж робочої області. Блок управління містить алгоритми адаптивного самонавчання для корекції параметрів друку в реальному часі на основі інформації від просторових датчиків і телевізорів, встановлених з чотирьох боків каркасу для контролю координат і температурних полів у зоні друку. В центрі прямокутного чотиригранного каркасу 1 розташований нерухомий робочий стіл 2 з деталлю, що друкується 3. На чотирьох вертикальних стійках каркасу 1 розташовано незалежні програмно-керовані приводи поступального руху 4, які шарнірно з'єднані штангами 5 з рухомою платформою, що містить друкарську головку 6 та позиціонується в робочий зоні уздовж трьох координат X, Y, Z. В поперечному перетині прямокутного каркасу 1 розташовано кільцеву напрямну 7. що має здатність програмно-керованого руху вертикально уздовж координати Z спареними приводами поступального руху 8, що працюють одночасно уздовж вертикальних стойок каркасу 1. На кільцевій напрямній 7 змонтовано незалежні програмно-керовані приводи поступового руху 9, які шанірно-зв'язані штангами 10 з маніпулятором із захоплювачем 11, що позиціонується завдяки приводам поступового руху 9 в робочій зоні укладання шарів по двом координатам X та Y. Опозитно до механізмів позиціювання маніпулятора із захоплювачем 11 на кільцевій напрямній 7 змонтовано незалежні програмно-керовані приводи поступового руху 12, які шанірно-зв'язані штангами 13 з локальним пристроєм підігріву охолодження 14, що позиціонується завдяки приводам поступового руху 12 в робочій зоні укладання шарів по двом координатам X та Y. В свою чергу приводи поступового руху 9 і 12 можуть позиціонувати пристрій підігріву/охолодження 14 та маніпулятор із захоплювачем 11 по кільцевій напрямній 7 навколо осі Z в системі координат деталі на 360 градусів. Приводи 8 рухають кільцеву напрямну вертикально впродовж вертикальних стойок каркасу, таким чином робоча зона має циліндричну форму.

Для забезпечення постійного зворотного зв'язку в режимі реального часу передаються дані про температуру та геометричні параметри в інтелектуальну систему числового програмного керування від двох тепловізорів 15 і двох просторових датчиків 16, що розміщені в основі каркасу з двох боків на рівні деталі, яка друкується. Тепловізори 15 і просторові датчики 16 розташовано окремо таким чином щоб отримати дані по координаті X та Y в робочій зоні роботизованого інтелектуального 3D-принтеру. Друкарська головка 6 формує шари виробу, пристрій локального підігріву/охолодження 13 коригує температурне поле в зоні друку, маніпулятор 11 із захоплювачем може здійснювати локальні операції з переміщення додаткових елементів таких як укладання армованих елементів в дефектні області, очищення робочої області і інше.

Керування рухами роботизованого інтелектуального 3D принтера для комбінованого друку забезпечується системою ЧПК з використанням штучного інтелекту.

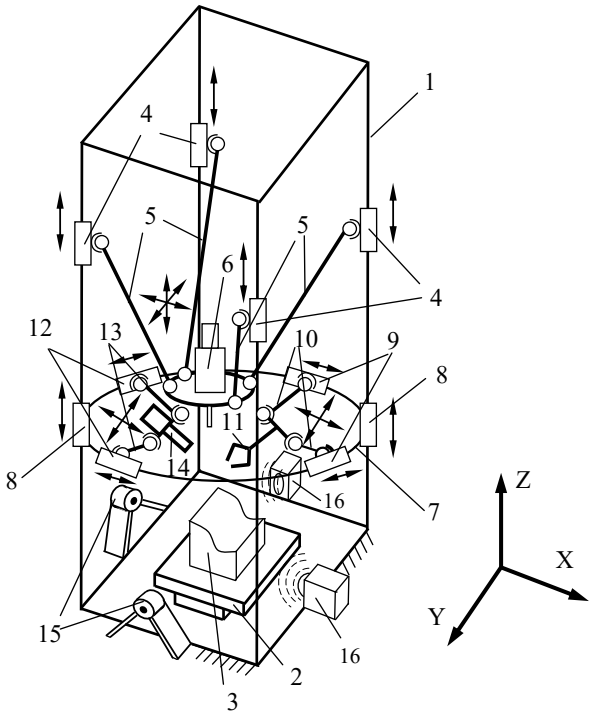


Рисунок1 – Роботизований інтелектуальний 3D-принтер для комбінованого друку

Висновки. Запропоновано рішення з технічним результатом-вдосконалення кінематичних властивостей самонавчального пристрою для комбінованого друку об'єктів, а саме забезпечення синхронного керованого впливу кількох різних рухомих локальних пристроїв в одній робочій зоні під час пошарового формування складних виробів, розширення функціональних можливостей за рахунок поєднання кінематичних рухів різних пристроїв, усунення температурних деформацій, підвищення якості друку складних виробів шляхом локального теплового регулювання та взаємодії з маніпулятором, оптимізація робочої зони. Завдання вирішується за рахунок використання несучого просторового каркасу, на стійках якого розміщені приводи поступального руху, кільцевої напрямної, локальних пристроїв, розташування друкарської головки, локального пристрою підігріву/охолодження та маніпулятора з захоплювачем на окремих рухомих механізмах, з’єднаних з приводами поступального руху через шарнірні та штанги постійної довжини, які формують просторовий каркас, застосування просторових датчиків та тепловізорів, встановлених з чотирьох боків каркасу для контролю координат і температурних полів у зоні друку. Запропоноване конструктивне рішення може бути використано на підприємствах машинобудівної промисловості при адитивному виробництві деталей складної форми та геометрії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат.154212, МПК B33Y30/00, Самонавчальний пристрій для комбінованого друку об'єктів / Дудукалов Ю. В., Глушкова Д. В. Сорокін В. Ф. Демченко С. В.; заявник і патентовласник Дудукалов Ю. В., Глушкова Д. В. Сорокін В. Ф. Демченко С. В. – № 202302613 заявл. 30.05.2023; опубл. 18.10.2023, Бюл. №42

2. Пат. 66672 , МПК B23Q1/00, B23B39/00, Свердлильно-фрезерний верстат/ Кузнєцов Ю. М, Фіранський В.Б., Дмитрієв Д.О.; заявник і патентовласник Кузнєцов Ю. М, Фіранський В.Б., Дмитрієв Д.О. – №201108142 заявл. 29.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1

УДК 539.375.5:621.793.74

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЖФАЗНОЇ ЗОНИ В УМОВАХ ФОРМУВАННІ ТА РУЙНУВАННІ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ВИПРОБУВАННІ НА ЗГИН

Петренко В.В., аспірант, Копилов В.І., д.т.н., професор,
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)
Сєліверстов І.А., к.т.н., доцент,
(Херсонський національний технічний університет)

Створення високоміцних та високотемпературних багатофазових плазмових покриттів на основі сумішей керамічних та металевих матеріалів відносяться до одних із основних напрямів розвитку сучасного матеріалознавства [1-3]. При цьому важливими параметрами, що визначають експлуатаційні властивості композитного матеріалу є його адгезійна, міжфазна міцність, що, в свою чергу може бути описано з енергетичної точки зору, наприклад інтенсивністю вивільненої енергії, як при формуванні, так і при руйнуванні покриття [1, 4]. Інакше кажучи процеси, що супроводжують встановлення міцних зв'язків при формуванні покриттів, а також і при їх руйнуванні, залежатимуть від енергетичного, а також і напруженого стану отриманої композиції. Як при утворенні з'єднання, так і при руйнуванні покриттів відбувається зміна вільної поверхні та поверхневої енергії контактної системи «основа – покриття». Створюється активований стан у певному об'ємі утвореної композиції, що оцінюється, в тому числі, відповідними енергетичними витратами. Назагал, можна констатувати, що формування і руйнування покриттів можна зіставити з точки зору енергетичних затрат на ці обидва процеси.

Мета роботи – провести розрахункові і експериментальні дослідження процесів в міжфазній зоні при плазмовому напиленні металевих і керамічних покриттів для оцінки енергетичних параметрів, супутніх цим процесам.

Адгезійні та міцнісні властивості є найбільш важливими характеристиками покриття, а також міжфазної контактної зони, і вони визначаються, перш за все, параметрами частинок, що напилюються, тобто режимом напилення. Проте, для багатьох композицій, коли йдеться, у тому числі, про напилення кераміки, основні труднощі при знаходженні міцності зчеплення покриття обумовлені можливістю визначення міжфазної енергії $E_{мжф}(D)$, а також роботи адгезії системи двох металів, розділених проміжком D [1, 5]. При теоретичних розрахунках для системи «покриття – матриця» границя розділу представляється у вигляді контакту двох поверхонь, що характеризуються нерівностями у вигляді сходинок дислокацій з кутом орієнтації щодо геометричної площини розділу α, середньою висотою h_α і довжиною L_α. З урахуванням того, що взаємодія фаз відбувається на окремих ділянках – активних центрах, структуру границі контакту описуватимемо функцією розподілу $\Phi(\alpha)$, причому кількість активних центрів, орієнтованих у сегменті $\alpha, \alpha + d\alpha$ відповідно дорівнює $\Phi(\alpha)d\alpha$ [1, 5]. При цьому відшарування покриття від основи розглядається, як зсув в площині одного активного центру і зміщення уздовж нормалі до нього, то енергія адгезії системи основа - покриття, що має у вихідному стані зазор D_0, дорівнює

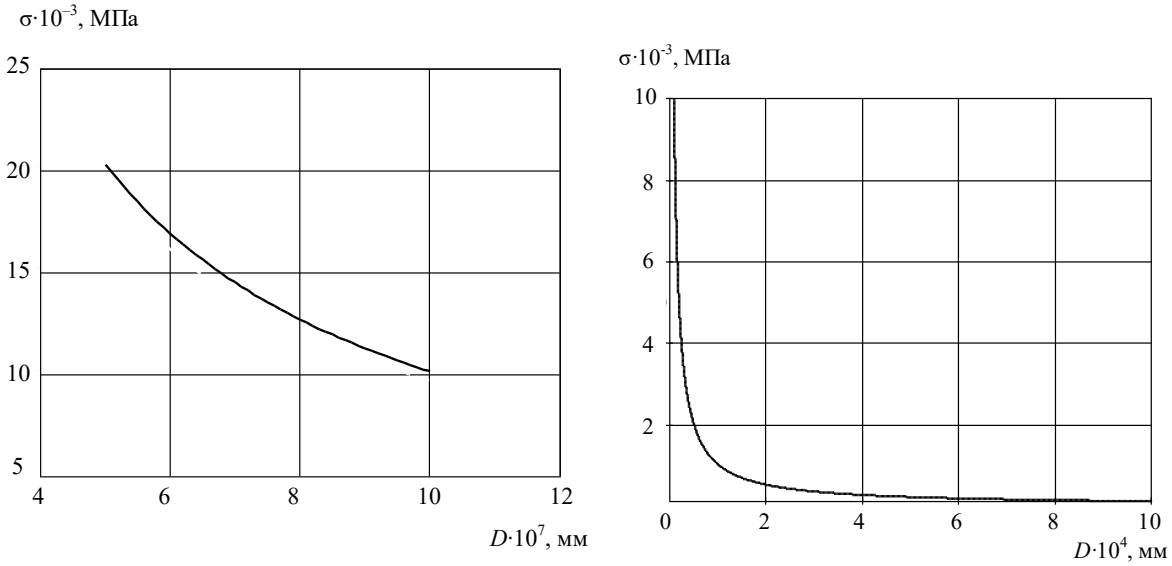
$$E_{\alpha d}(D) = E_{AB}(+\infty) L_\alpha \left[h_\alpha - \left(h_\alpha - D\sin\alpha \right) \right] \cdot \theta(x) + \sigma_{мжф}(d) L_\alpha \left(h_\alpha - D\sin\alpha \right) \theta(x) \quad (1)$$

У виразі (1) $\sigma_{мжф}(d)$ є міжфазна енергія одиниці площі границі розділу, що визначається за методом функціоналу щільності [1, 5, 6] При цьому взаємодіючі фази розташовуються на відстані $d = D_0 + D\cos\alpha$; D_0 - відповідає мінімуму вільної енергії. У

рівнянні (1) $\theta(x) = 0$– ступінчаста функція Хевісайда [1, 5]. Повна енергія адгезії усієї зони контакту залежно від величини зазору між контактуючими металами, з врахуванням функції розподілу *Ф(α)* і параметрів активних центрів, які визначаються структурою поверхонь, обумовленою фізико-хімічними процесами при плазмовому напиленні, описується виразом:

$$E_{ad}(D) = h_0 L \int_0^{\pi/2} \left[\sigma_A + \sigma_B - \sigma_{AB}\left(D\cos\alpha + D_0\right)\right]\cos\alpha\left(1 - \frac{D}{h_0}\sin\alpha\right)\theta\left(1 - \frac{D\sin\alpha}{h_0}\right)d\alpha \quad (2)$$

Отримані рішення, в загальному випадку, дозволяють провести розрахунки значень енергії і сили адгезії, а також міцності зчеплення покриттів з основою стосовно плазмового напилення. На рис.1 на прикладі системи Fe (основа) – Mo (покриття) при плазмовому напиленні приведені розрахунки міцності зчеплення залежно від дистанції зближення (*D*) двох контактуючих поверхонь [1, 5].



(а) (б)

Рис.1. Зміна міцності зчеплення плазмового покриття з основою в залежності від дистанції зближення взаємодіючих поверхонь в умовах ідеального (а) та звичайного (б) контактів

При плазмовому напиленні в перехідній міжфазній зоні виникають і взаємно переміщаються дислокації, що утворюють складну дислокаційну структуру. Внаслідок цього утворена дислокаційна структура є причиною існування неоднорідних напружень у зоні контакту, а утворена дислокаційна структура характеризується в свою чергу відповідною енергією. З урахуванням вкладу енергії прикордонних дислокацій міжфазна енергія запишеться у вигляді (енергія адгезії):

$$E(D,\alpha) = E_\alpha(+\infty)L_\alpha\left[h_\alpha - (\mathrm{h}_\alpha - D\sin\alpha)\theta\left(h_\alpha - D\sin\alpha\right)\right] + \\ + \left[\sigma_{M\Phi\Pi}\left(D_0 + D\cos\alpha\right) + \sigma_d(D,\alpha)\right]L_\alpha\left(h_\alpha - D\sin\alpha\right)\theta\left(h_\alpha - D\sin\alpha\right) \quad (3)$$

де: $\sigma_{M\Phi\Pi}(d)$ - міжфазна енергія одиниці площі границі розділу у методі функціоналу щільності [1, 6], коли фази розташовані на відстані D; $\sigma_d(D,\alpha)$ – внесок у міжфазну енергію від утворення прикордонних дислокацій з урахуванням зсуву вздовж осі, розташованої під кутом α до поверхні сходинки; D_0 – відповідає мінімуму міжфазної енергії; $\sigma_{AB}(+\infty) = \sigma_A + \sigma_B$ – сума поверхневих енергій новостворених поверхонь;

$\partial\sigma_{МФП}/\partial D\big|_{D=D_0}=0$. Таким чином, отримано рішення, яке в загальному вигляді описує залежність енергії і сили адгезії від параметрів взаємодіючих тіл, від структури поверхневих шарів, щільності дислокацій і дозволяє розрахувати міцність зчеплення, що в свою чергу є наслідком послідовного перебігу процесів удару, змочування, встановлення фізичного контакту. На рис. 2 приведені значення роботи адгезії U_a від параметрів частинок напилюваного матеріалу.

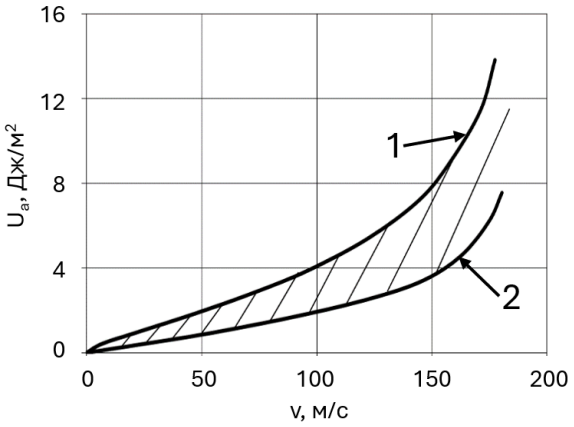


Рис. 2. Зміна роботи адгезії U_a залежно від швидкості частинок; зашрихована зона характеризує ступінь пластичності.

На рис. 2 крива 1 (верхня) відноситься до частинок, що знаходяться в розплавленому (передплавильному) стані, а крива 2 (нижча) – відповідно до частинок у пластичному стані, тобто при нижчих температурах, інакше кажучи заштрихована область характеризує ступінь пластичності матеріалу покриття.

Аналіз процесів розтріскування і відшарування проводився на основі експериментальних досліджень зразків з покриттями на 3-х точковий згин. У разі відшарування покриття енергетичною характеристикою процесу виникнення міжфазної тріщини може бути величина $\gamma_{эф}=G/2$ – питома робота ініціювання руйнування, значення якої записується як:

$$\gamma_{\text{мф}}=\left(\bar{F}_{\text{ф}}\right)^2\frac{(\sigma_{в}^{\text{осн}})^2\cdot d}{E_o}\left(\frac{1-\nu^2}{16\pi}\right) \tag{4}$$

На рис.3 показані теоретичні залежності вивільненої міжфазної енергії ΔG від відносної площі контакту $\bar{F}$. Проілюстровано вплив розміру вихідних частинок порошкового матеріалу $R_ч$ та відношення модулів пружності покриття та основи Σ на залежність $\Delta G=f(\bar{F})$. Згідно з результатами, для великих розмірів частинок та при рівності модулів пружності покриття/основа необхідна найменша кількість енергії для поширення міжфазної тріщини. При розрахунку енергії, запасеної в системі «основа-покриття» ΔU, в момент виникнення тріщини в покритті враховується робота ΔW, виконана прикладеною силою, ΔW_d – втрати, пов'язані із пластичною деформацією в основі; ΔUs – зміна енергії деформації, викликана ковзанням вздовж границі між основою та покриттям; ΔUc – енергія деформації, що звільняється при розвитку тріщини у покритті. Функціональна залежність для розрахунків повної енергії, запасеної в системі основа - покриття в момент виникнення тріщини має вигляд, $\Delta U=\Phi\left(\Delta W,\Delta W_d,\Delta U_s,\Delta U_e\right)$.

Результати розрахунків складових енергії, запасеної в системі «основа-покриття» ΔU для системи « сталь 20 – суміш ZrO_2-NiCr», залежно від прикладеної напруги, представлені на рис.4

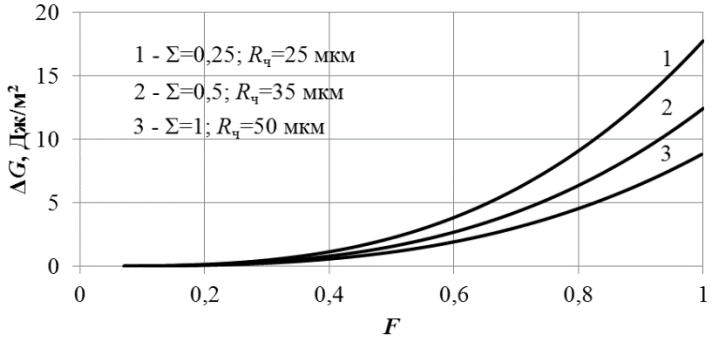


Рис.3.. Залежність інтенсивності вивільненої енергії при розвитку міжфазної тріщини від відносної площі контакту при різних значеннях радіусу частинок вихідного матеріалу та відношення модулів пружності покриття/основа

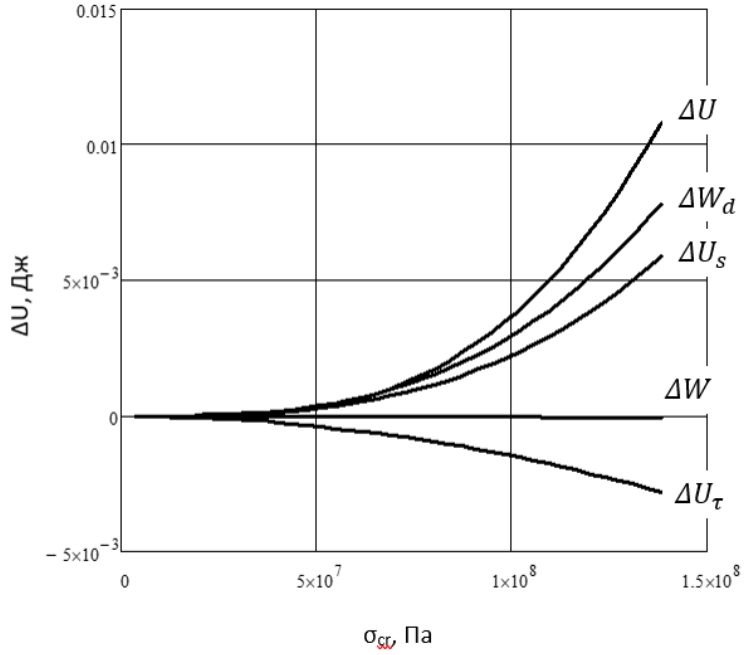


Рис. 4 Енергетичний баланс у системі «основа – покриття», залежно від прикладеної напруги, покриття на основі суміші (ZrO_2-NiCr)

У таблиці 1 представлені результати розрахунків напружень в покритті і значень вивільненої енергії керамічного матеріалу покриття на основі ZrO_2,

Таблиця 1 **Параметри напружень та вивільненої енергії для системи «основа – покриття» за випробуваннями на згин**

№	Матеріал суміші для покриттів	σ_{cr}, МПа	G, Дж/м^2
1	NiCr-ZrO_2, (1:1)	86,32	505
2	NiAl-ZrO_2 (1:1)	69,40	336

Висновки. Назагал, можна констатувати, що формування і руйнування покриттів можна зіставити з точки зору енергетичних затрат на ці обидва процеси. Відповідні теоретичні дослідження адгезійних характеристик при плазмовому напиленні, оцінка ролі безпосередньо міжфазної зони, дислокаційної структури приповерхневих шарів підкріплюються механічними лослідженнями на згин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копылов В.И., Смирнов И.В., Селиверстов И.А. Формирование и свойства плазменных многофазных покрытий с наноразмерными составляющими. Монография. В ред. Киев: «Наукова думка», 2019. – 480 с.
2. Kopylov, V. I. Effect of multiphase structure of plasma coatings on their elastic and strength properties [Text] / V. I. Kopylov // Eastern-Eurohean Journal of Enterprise Technologies.– 2016.– 5/5 (83).– P. 49–57.
3. Розов Ю.Г., Сєліверстов І.А., Сошко В.О. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник. - Херсон: Олді-плюс, 2010.–338 с.
4. Антоненко Д.А., Копылов В.И. Трещиностойкость композитных материалов с нанокерамическими составляющими// Вестник Донбасской машиностроительной академии (ДГМА), г. Краматорск, 2012 г.
5. Копилов В.І. Адгезійні властивості і міцність зчеплення газотермічних покриттів / В.І. Копилов, І.В. Смирнов, Д.О. Антоненко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2010. – № 1. – С. 93 – 103.

Ухов В. Ф., Кобелева Р. М., Дедков Г. Д., Темроков А. И. Электронно-статистическая теория металлов и ионных кристаллов .— М.: Наука, 1982.— 140 с.

УДК 620.178.16:621.893:678.664

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ІЗ В'ЯЗКО-ПРУЖНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРАЛІВ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ

Анісімов В.М., Анісімов В.В, Кузяєв І.М.
Український державний університет науки і технологій

Більшість машин та агрегатів (85-90 %) виходять із ладу з причин зношування деталей. Витрати на ремонт досягають астрономічних цифр, які щорічно стрімко збільшуються [1]. Конструкційні сталі, кольорові метали, великотоннажні полімери та традиційні методи їх переробки не вирішують означену проблему. Все більше розповсюдження у якості матеріалів з підвищеною зносостійкістю знаходять полімерні композити із заданим комплексом властивостей, а серед технологій їх переробки – сучасні адитивні технології [2,3]. Тому створення сучасного технологічного комплексу швидкого прототипування виробів з підвищеною зносостійкістю для машинобудування є актуальною науково-технічною проблемою і має велике практичне значення для використання в промисловості.

Для виготовлення широкої номенклатури виробів з підвищеною зносостійкістю було спроектовано та виготовлено технологічний комплекс швидкого прототипування. Для цього спеціально розроблено екструдерне обладнання, обрано відповідний 3D-принтер та застосовано багатоосьовий верстат фрезерної групи для доводки виробів.

Екструдер спроектовано із врахуванням особливостей переробки полімерних композиційних матеріалів високої в'язкості, наявності антифрикційних наповнювачів (тонкодисперсний графіт і кокс, дисульфід молібдену, смоли та ін.). Діаметр шнеку дорівнює 20 мм, що дозволяє отримувати філаментні стренги діаметром 1,75 та 3 мм при продуктивності 10 – 30 кг за годину. У якості полімерної матриці обрано лінійні блок-кополіуретани різної хімічної будови. Актуальність обраних матеріалів перш за все визначається екологічними чинниками – поліуретани блокової будови забезпечують

унікальний комплекс властивостей і, одночасно, вони при цьому придатні до рециклінгу, перероблюються за безвідходною технологією на високошвидкісному автоматизованому обладнанні.

В реальних умовах експлуатації полімерних виробів і переробки полімерних в'язко-пружних композиційних матеріалів необхідно враховувати їх пружно-деформований стан, а саме геометричні розміри, параметри механічного і температурного поля, характер релаксації тощо. Для системного аналізу впливу чинників на характер напружено-деформованого стану полімерів та виробів на їх основі обрано методи прогностичного моделювання із розробленням програмних блоків САПР.

Релаксацію напружень вивчено на випробувальній машині Hounsfield при кімнатній температурі. При цьому зразки у початковий момент підлягали навантаженню, після чого навантаження знімалося, а через деякий час навантаження знову прикладалося із більш високими рівнями в такій послідовності: 10, 25, 50, 100, 200 %.

При виконанні експериментів у зразках утворювалося певне напруження при швидкості крейцкопфа *V*=50 мм/хв, потім відбувалася витримка протягом 40 хв. У процесі досліджень на релаксацію напружень, залежно від вмісту жорстких блоків й органоглини, встановлювалися різні рівні початкового напруження.

Зміни напружень за часом реєструвалися, причому параметр релаксації визначався як $(\sigma_0 - \sigma_e)/\sigma_0$, де σ_0 – початкове напруження при $t = 0$ та 100 %-й деформації, а σ_e – напруження, зняте після скінчення певного часу.

Ррозглянуто способи моделювання напружено-деформованого стану в'язко-пружних матеріалів. Показано, що адекватні результати аналізу напружено-деформованого стану елементів з в'язко-пружних матеріалів забезпечує метод, який базується на відомих рішеннях задач теорії пружності шляхом відповідної заміни пружних характеристик через в'язко-пружні параметри з використанням апроксимації Іллюшина. Як приклад, розрахунки виконано для круглої пластини, яку защемлено по контуру й рівномірно навантажено за всією площею (звичайна мембрана) [4].

Представлено методики апроксимації експериментальних даних і наведено приклади подальшого їхнього використання при розрахунках напружено-деформованого стану елементів машин.

З метою видалення тимчасових підтримок для деталей із складною конфігурацією, усунення основи, на якій друкувалась деталь, підчистки поверхонь деталей, обробки каналів та ін. був використаний чотирьохосьовий фрезерний верстат моделі LZ3020Z-VFD1,5KW USB 4 axis.

За допомогою розробленого технологічного комплексу швидкого прототипування були виготовлені із композиційних матеріалів з підвищеною зносостійкістю підшипники ковзання, манжети, ущільнення, шестерні для потреб машинобудівного комплексу, які показали свою ефективність.

Висновки.

1. Для виготовлення широкої номенклатури виробів із композиційних полімерних матеріалів з підвищеною зносостійкістю було спроектовано та виготовлено технологічний комплекс швидкого прототипування. Для цього спеціально розроблено екструдерне обладнання, обрано відповідний 3D-принтер та застосовано багатоосьовий верстат фрезерної групи для доводки виробів.

2 Представлено методики апроксимації експериментальних даних і наведено приклади подальшого їх використання при розрахунках напружено-деформованого стану в'язко-пружних матеріалів та виробів з них.

3. Отримано математичні моделі для розрахунку температурних напружень із урахуванням в'язко-пружних властивостей матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Anisimov, V.N. About wear resistance of linear block-polyurethanes [Text] / V.M. Anisimov, A. Panda, V.V. Anisimov, K. Dyadyra, I. Pandova // MM Science Journal. – 2020. – 2020 (November). – P.P.4068 – 4073. DOI:10.17973/MMSI.2020_11_2020024.

2. Anisimov, V.N. Linear Block-Polyurethanes with Optimal Molekular Topology for Tribotechnology [Text] / V.N. Anisimov, V.V. Anisimov // Voprosy khimiï i khimicheskoï teknologiï. – 2020. № 3, - PP.20 – 25. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-130-3-20-25.

3. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

4. Кузяєв І.М., Півень О.Н., Місяць В.П. Основи математичного моделювання процесів по переробці полімерних матеріалів: навч. посібн. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 283 с.

УДК 628.51+621.35

ПРОМИСЛОВИЙ ТРИБОЕЛЕКТРОСТАТИЧНИЙ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ

Кузнєцов С.І., Івкіна Є.С.
Херсонський національний технічний університет

Все життя людини проходить в повітряному середовищі. Атмосферне повітря є життєво важливим компонентом навколишнього природного середовища, невід'ємною частиною середовища проживання людини.

Велика кількість виробничих процесів в промисловості пов'язано з утворенням пилу, яка забруднює повітря робочої зони і далеко за межами пилоутворюючих підприємств.

Частинки пилу розмірами більше 8 - 10 мкм при вдиханні в легені не потрапляють завдяки природній самозахисту дихальних органів людини. Основну небезпеку для організму людини представляють тверді частинки розміри, яких менше 8 мкм. Тому проблеми уловлювання дрібного пилу приділяється особлива увага.

Очищення газів від зважених в них твердих частинок перед надходженням в атмосферу запобігає забрудненню атмосферного повітря, дозволяє повернути у виробництво корисні речовини і утилізувати без шкоди для навколишнього середовища шкідливу і небезпечну пил.

Розроблене обладнання може бути використано в галузях промисловості, які викидають в повітряний басейн гази, що містять дрібний пил.

Конструкція електрофільтрів досить складна, вона складається з ряду коронуючих і осаджувальних електродів, розташованих в ізольованому корпусі. Для забезпечення роботи використовується високовольтне джерело постійного струму. Як показує практика, ККД електрофільтрів становить 92-96% і чим він вище, тим більші габаритні розміри мають бути у обладнання. Так, наприклад, якщо потрібно уловлювати дрібні частинки з ККД більше 95% - висота апарату має перевищувати 3 метри [1].

До недоліків електрофільтрів слід віднести також їх високу вартість, громіздкість, складність виготовлення, а також необхідність періодичного відновлення їх фільтруючих властивостей [2]. Крім того в електрофільтрах не можливо вловлювати частинки легкозаймистих матеріалів, через небезпеку їх загоряння.

Відомі конструкції електростатичних фільтрів, принцип роботи яких заснований на уловлюванні твердих частинок поверхнею електродів, з електростатичним зарядом.

Недоліком електростатичних фільтрів є необхідність установки джерела живлення високої напруги, складність виготовлення.

Метою досліджень є розробка конструкції трибоелектростатичного пиловловлювача здатного ефективно вловлювати дрібнодисперсний пил будь-якого походження.

Розроблена конструкція багатодискового трибоелектростатичного пиловловлювача [3], (рис.1). Апарат має велику продуктивність, високий ККД і низьку собівартість. Для створення електричного поля у фільтрі використовується трибоефект, що виникає внаслідок тертя діелектриків, і виключає необхідність використання високовольтного джерела живлення.

Конструкція трибоелектростатичного пиловловлювача складається з ряду паралельних дисків - електродів 2, закріплених на загальному валу 3. Вал із закріпленими на ньому дисками приводиться до обертання від електродвигуна 7 через редуктор 6. Диски знаходяться у контакті з нерухомими щітками 4. Система обертових дисків зі щітками може мати відкрите виконання, коли забруднений газ подається у електростатичний фільтр примусово. У будь-якому випадку в нижній частині фільтра встановлюється бункер 5 для збору уловленого пилу.

Матеріалом для виготовлення дисків можуть служити будь-які діелектрики. Найбільш придатними для цієї мети є полістирол, органічне скло, полівінілхлорид, склопластики, фтор-пласт і інші матеріали, що мають високу здатність наелектризовуватися від тертя. Щітки можуть бути виготовлені з повсті, капронової пряжі, скловолокна, щетини, сукна, хутра та ін.

При обертанні дисків і тертя їх об нерухомі щітки, на поверхні дисків виникає статична електрика, а між дисками - електростатичне поле. Частинки пилу примусово направляються або вільно надходять в апарат і потрапляють в електричне поле. Внаслідок ефекту поляризації і наведення зарядів, пил притягується поверхнею протилежно заряджених дисків, осідає на них і за допомогою щіток 4 зчищаються в бункер - пилозбірник 5.

Електростатичне поле створюється нерухомими в просторі і незмінними в часі електричними зарядами, при цьому електричний струм відсутній. Воно являє собою особливий вид матерії, що передає дії зарядів друг на друга.

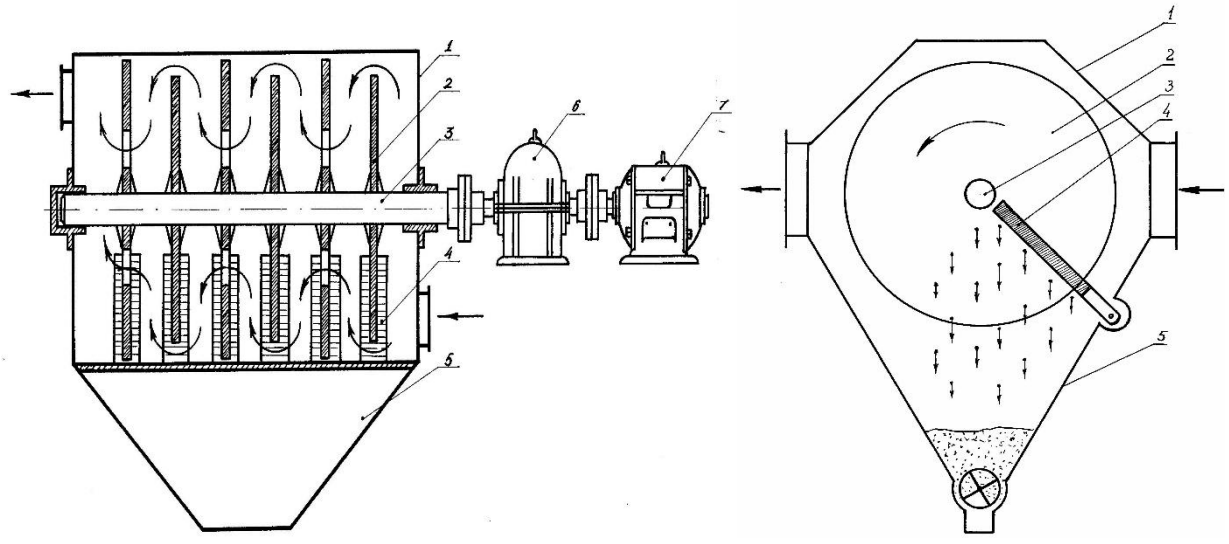


Рисунок 1 – Багатодисковий трибоелектростатичний пиловловлювач: 1 - корпус, 2 - диски-електроди, 3 - вал, 4 - щітки, 5 - бункер для пилу, 6 - редуктор, 7 - електродвигун.

Електростатичний розряд відбувається при дуже високій напрузі і дуже низькому струмі. Напругу в десятки тисяч вольт при струмі, який вимірюється тисячними частками ампера неможливо відчути при дотику[5]. Саме низькі значення струму не дають статичному заряду завдати людині шкоди, що є великою перевагою трибоелектростатичного пиловловлювача.

Для запобігання стікання наведених зарядів з поверхні дисків вал повинен бути виконаний з діелектрика або мати ізолюючі пристрої.

Апарат може бути приєднаний до газоходу двома способами. Потік запиленого газу може проходити: I - перпендикулярно і II - уздовж осі обертання дисків. У другому випадку подача запиленого газу здійснюється через бічний штуцер. Газ проходить через радіальний зазор між першим (по ходу газу) диском і кожухом, потім рухається від периферії до центру між першим і другим диском. Далі газ проходить через центральні отвори в другому диску і спрямовується від центру до периферії між другим і третім диском. Таким чином, газ проходить послідовно зазори між усіма дисками і через бічний штуцер виводиться з протилежного кінця апарату. Для забезпечення руху газу через пиловловлювач у всіх парних дисках, в центральній їх частині робляться отвори для проходу газу, а зазор між цими дисками і кожухом фільтра повинен бути мінімальним. Непарні диски виконуються суцільними, а зазор між диском і кожухом повинен забезпечити безперешкодний прохід газу.

При знятому кожусі (рис. 2) пиловловлювач може бути встановлений у відкритому запиленому приміщенні або у джерела виділення пилу. В цьому випадку частинки притягуються до дисків з відстані 3 - 5м.

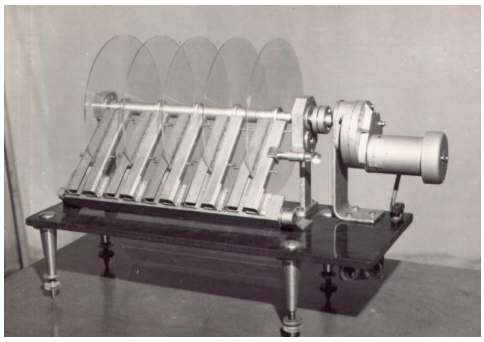


Рисунок 2 – Трибоелектростатичний пиловловлювач відкритого типу

Проведені випробування показали, що апарат описаної конструкції інтенсивно вловлює пил різних речовин органічного і неорганічного походження: вугільний пил, золу, цемент, сажу, хлористий натрій, хлористий калій, сульфіт і сульфат натрію, кварц, фосфорити, суперфосфат, гіпс, фосфорну муку, аміачну селітру, сульфат амонію, крейда, вапняк, луг і багато інших речовин. З органічних речовин добре уловлюється бавовняний, конопляний і джутовий пил, частинки інших текстильних волокнистих матеріалів, а також, борошна, цукру, щавлевої кислоти, сечовини, сульфосолі та ін.

Математичні залежності для визначення оптимальних геометричних розмірів і співвідношень пиловловлювача.

1. Діаметр дисків залежить від продуктивності пиловловлювача і може бути визначений за емпіричною формулою:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot V}} \text{ м},$$

де: Q - кількість повітря, що очищується, $м^3/ч$;
V - швидкість повітря в апараті, м/с; V = 0,5 - 2,0 м/с.

2. Відстань між дисками становить:

$$l=0,2 \cdot D$$

3. Кількість дисків розраховується за формулою:

$$K = \frac{D}{l} \text{ шт},$$

4. Швидкість обертання дисків визначається за формулою:

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1}$$

де: ω - окружна швидкість диска (по дослідницьким даним ω = 1-5 м/с).

При установці пиловловлювача в відкритих приміщеннях кількість дисків не обмежується.

На підставі виведених формул, розраховані оптимальні геометричні розміри апарату. Для очищення 100 м^3/ч газу, що містить різні домішки, сконструйований лабораторний прототип, який має такі розміри:

Діаметр дисків:

$$D = \sqrt{\frac{100}{3600 \cdot 0{,}5}} = 0{,}246 \text{ м}$$

Приймається D= 0,25 м.

Відстань між дисками:

$$l = 0{,}2 \cdot 0{,}25 = 0{,}05 \text{ м}.$$

Кількість дисків:

$$K = \frac{0{,}25}{0{,}05} = 5$$

Швидкість обертання дисків:

$$n = \frac{60 \cdot 1}{3{,}14 \cdot 0{,}25} = 77 \text{ хв}^{-1}.$$

Трибоелектростатичний пиловловлювач, складається з 5 дисків, виготовлених з органічного скла товщиною 5мм і діаметром 250мм. Відстань між дисками на валу 50мм. Швидкість обертання дисків 77 хв$^{-1}$. Матеріал щіток - повсть. Для обертання ротора встановлений двигун 30Вт. Результати випробувань фільтра при очищенні повітря від деяких домішок наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати випробувань фільтра при очищенні(100 м^3) повітря від деяких домішок

	Назва пилу	Запиленість повітря, г/м^3		Ступінь очищення повітря
		вхід	вихід	
1	Цемент	1,5	0,013	99,8
2	Поварена сіль	2,3	0,01	99,6
3	Сечовина	3,2	0,01	99,8
4	Бавовняний пил	0,8	0,00	100,0
5	Суперфосфат	1,4	0,006	99,6
6	Аміачна селітра	2,8	0,006	96,8

Висновки. Трибоелектростатичний пиловловлювач здатний ефективно очищати гази від надзвичайно легких і дрібних частинок, розмір яких може бути менше 0,01мкм, безпечно вловлювати легкозаймистий, вибухонебезпечний, струмопровідний пил при низькому тиску газу.

Робочі частини пиловловлювача не схильні до корозії від дії кислот, лугів та інших агресивних середовищ, оскільки виготовлені з неметалічних матеріалів, в ньому не виникають небезпечні для здоров'я людини електромагнітні поля.

Собівартість і експлуатація трибоелектростатичного пиловловлювача нижче, ніж у електрофільтру, конструкція апарату проста у виготовленні, довговічна, надійна, безпечна в роботі, не вимагає установки високовольтного джерела живлення, застосування дефіцитних матеріалів, легка в обслуговуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Технічні засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. ВНТУ, 2005. - 158 с.

2. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина ІІІ. Заключні процеси. – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2019. – 220 с.

3. Патент на корисну модель №120641 Україна, МПК A47L 9/10, (2006.01), B04C 3/04 (2006.01). Трибоелектростатичний пиловловлювач / Кузнєцов С.І. (Україна); Заявл.22.04.11; Опубл. 11.11.17, Бюл. №21, 2017.

УДК 621.762; 621.77

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИРОБІВ З ПОРОШКОВИХ ТА ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

[1]Михайлов А. О., [2]Штефан Є. В., [1]Михайлов О. В., [1,2]Штерн М. Б.
[1]Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна
[2]Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

При проектуванні технологічних процесів порошкової металургії актуальним є дослідження впливу схем деформування на розподіл параметрів, що визначають характеристики виробів. При проектуванні виробництва все ширше застосовуються інформаційні технології, методи комп'ютерного моделювання. Метою даної роблти є розробка методу моделювання, що дозволяє дослідити закономірності процесів деформаційної обробки як порошкових матеріалів, так і пористих заготовок. Розробка математичної моделі процесу деформування порошкових матеріалів та пористих заготовок включає низку послідовних етапів. Ці етапи визначають наступну структуру математичної моделі: аналітична, алгоритмічна та цифрова моделі.

Аналітична модель. Використовуються співвідношення теорії пластичності пористого тіла запропоновані у роботі [1] та метод скінчених елементів.

Рівняння контуру поверхні навантаження в p - τ площині має вигляд:

$$F = \frac{(p - p_0)^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\varphi} - \tau_s{}^2 = 0 \qquad (1)$$

де p - величина гідростатичного тиску, τ - інтенсивність дотичних напружень. φ і ψ - матеріальні функції, залежні від пористості, p_0 - значення гідростатичної компоненти напруженого стану, за якої об'єм пористого матеріалу не змінюється, τ_s - границя текучості матеріалу порошку або твердої фази пористого тіла. Співвідношення теорії пластичності [1] дозволяють описувати деформування як порошкових матеріалів, так і пористих заготовок.

Розглянуто пружно-пластичну поведінку матеріалу, що деформується. Прирощення загальної деформації складається з суми пружних $d\xi_{ij}^{e}$ і пластичних $d\xi_{ij}^{pl}$ деформацій (2). Пружні деформації зворотні, а пластичні - незворотні.

$$d\xi_{ij} = d\xi^{e}_{ij} + d\xi^{pl}_{ij} \tag{2}$$

Прирощення пружних деформацій визначаються згідно із законом Гука (3).

$$d\xi^{e}_{ij} = \frac{1+\nu}{E} d\sigma_{ij} - \frac{\nu}{E}(d\sigma_{kk})\delta_{ij} \tag{3}$$

Прирощення пластичних деформацій визначаються відповідно асоційованого з поверхнею течії закону (течія відбувається в напрямку, що нормальний до цієї поверхні):

$$d\xi^{pl}_{ij} = \lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}}; \lambda > 0 \tag{4}$$

Відповідно, збільшення об'ємної деформації і деформації зсуву визначається виразами (5) та (6).

$$de^{pl} = \lambda \frac{\partial F}{\partial p} = \frac{2(p - p_0)}{\psi} \tag{5}$$

$$d\gamma^{pl} = \lambda \frac{\partial F}{\partial \tau} = \frac{2\tau}{\varphi} \tag{6}$$

Варіаційний функціонал і система рівнянь методу скінченних елементів для моделі пружно-пластичного деформування приймають вигляд (7) і (8):

$$J = \int_V \tau_s \left(\frac{\sqrt{\gamma^2 \varphi + e^2 \psi}}{\sqrt{1-\theta}} + \frac{\dot{p}_0}{\tau_s} \cdot \frac{e}{1-\theta} \right) dV - \int_S \dot{p}_i \cdot v_i dS, \tag{7}$$

$$[K] \cdot \left\{ \dot{X} \right\} = \{\dot{P}\} - \{\dot{P}_0\} \tag{8}$$

Алгоритмічна модель. Для процесу пружно-пластичного деформування моделювання виконувалося методом послідовних навантажень. На кожному кроці навантаження визначалися напруги, причому вважали, що матеріал є пружним. Потім обчислювали пластичний потенціал $F(\boldsymbol{\sigma}_{ij})$ і, в залежності від його величини, проводили коригування напружень і матеріальних параметрів моделі.

Цифрова модель. Цифрова модель пружно-пластичного деформування була реалізована у вигляді підпрограм VUMAT і UMAT, які були імплементовані відповідно в програмні системи ABAQUS [2] та LS-DYNA [3].

Для кожного кроку навантаження ABAQUS інтегрує рівняння рівноваги на основі напруженого стану на початку кроку в кожній точці інтегрування і передає тензор градієнта деформації, тензор напружень і внутрішні змінні в підпрограму VUMAT. Підпрограма VUMAT обчислює компоненти напружень і внутрішні змінні, що задаються користувачем, в кінці заданого прирощення деформації та передає їх в ABAQUS (рис.1). Використовуючи цю інформацію, ABAQUS може продовжити обчислення для наступного кроку навантаження.

Призначення підпрограми UMAT та її взаємодія з програмною системою LS-DYNA аналогічні.

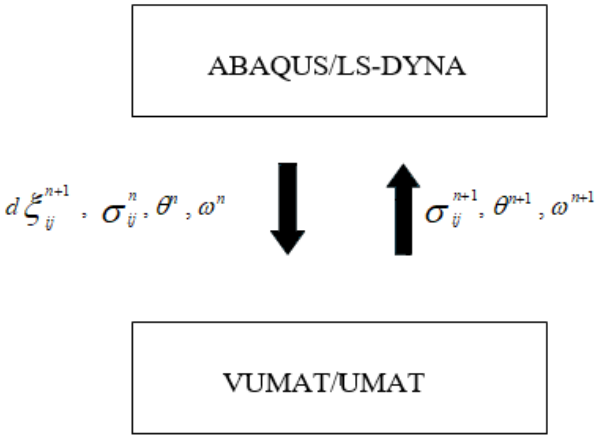


Рисунок 1 – Схема взаємодії між підпрограмами VUMAT і UMAT та системами ABAQUS і LS-DYNA

Приклади реалізації підпрограм:

1. Система ABAQUS, підпрограма VUMAT. Розподіл величини пористості при вільній осадці пористої заготовки, що має форму кільця (рис.2).

2. Система LS-DYNA, підпрограма UMAT. Розподіл величини пористості при прямому видавлюванні (рис.3).

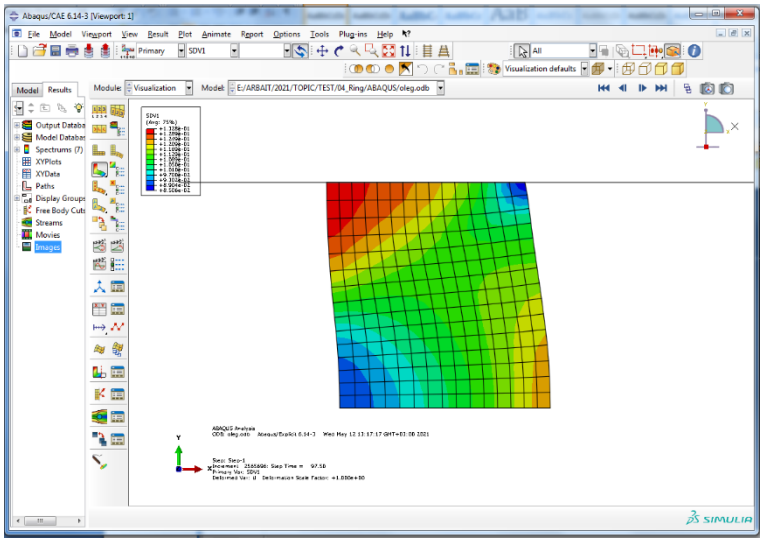


Рисунок 2 – Система ABAQUS, підпрограма VUMAT

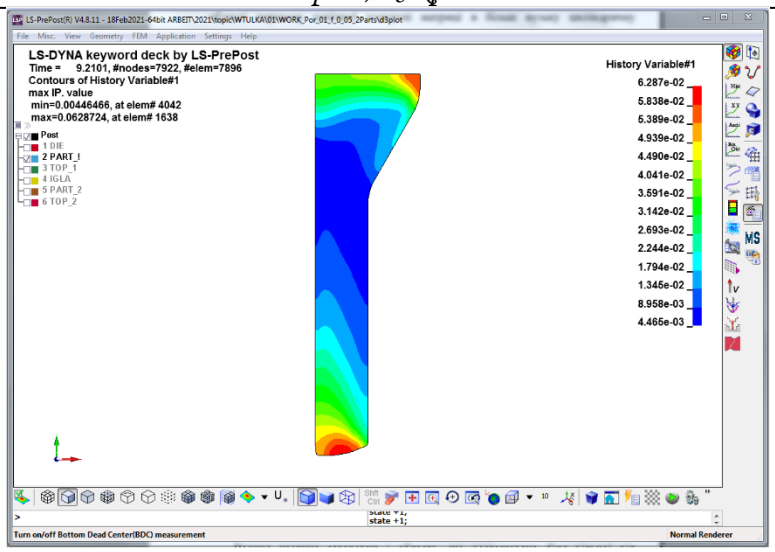


Рисунок 3 – Система LS-DYNA, підпрограма UMAT

Висновки. Розроблена математична модель процесів формоутворення структурно-неоднорідних пористих матеріалів, яка включає аналітичну, алгоритмічну та цифрову моделі. Використовуються співвідношення теорії пластичності пористого тіла, які, на відміну від існуючих, дозволяють описувати деформування як порошкових матеріалів, так і пористих заготовок.

ЛІТЕРАТУРА

1. M. B. Shtern, O. V. Mikhailov, A. O. Mikhailov, Theory and technology of forming process generalized continuum model of plasticity of powder and porous materials, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 60, Nos. 1-2, May, 2021 (Russian Original Vol. 60, Nos. 1-2, Jan.-Feb., 2021. – pp. 27-44). - pp.20-36 DOI: 10.1007/s11106-021-00211-7

2. Abaqus. Unified FEA. (Dassault Systèmes, France). URL: https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/ (дата звернення 15.09.2025).

3. LS-DYNA. (LST, USA). URL: https://www.lstc.com/ (дата звернення 15.09.2025).

УДК 621.757:621.7.08

КЕРУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ

Кузін О.А., Гасій О.Б., Гончар І.М.,
Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна
Кузін М.О.,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, Львів, Україна

В умовах ринкових відносин пріоритетне значення має конкурентноздатність виробів, яка визначається характеристиками надійності, що закладаються при проектуванні, забезпечуються при виготовленні, але проявляються лише при експлуатації.

Розвиток інформаційного забезпечення машинобудування на основі багатофункціональних комп’ютерних систем, що узгоджено виконують об’ємне

конструювання виробу (CAD), розрахункове обґрунтування його надійності та працездатності (CAE), підготовку технологічних процесів виготовлення (CAM) та керування інженерним проектом (PDM) дає можливість отримання деталей з використанням гнучких технологій при мінімальних витратах [1].

Програми комп'ютерного інженерного аналізу CAE на підставі розрахункового обґрунтування дозволяють формулювати нові підходи до вибору матеріалів та вдосконалення технологій їх обробки для підвищення експлуатаційної довговічності деталей. Слід відзначити, що використання цих програм обмежується відсутністю встановлених взаємозв'язків між локальною неоднорідністю структури матеріалу і етапами їх життєвого циклу.

В проблемі загального аналізу матеріалів, технологій їх обробки і конструкцій значний інтерес представляє неоднорідність структури, яка формується під час кристалізації сплавів залежно від умов тепловідведення. Елементами такої структури є первинні зерна, їх поверхні поділу, раковини, пори, утворення та властивості яких залежать від ліквації компонентів сплавів і особливостей їх кристалізації.

При проектуванні деталей розрахунок конструкційної міцності проводиться з позицій механіки суцільних середовищ без врахування технологічної дефектності металічного матеріалу та нерівномірного розподілу властивостей в макрооб'ємі. Разом з тим неоднорідність фізико-хімічного та технологічного походження має важливе значення у формуванні конструкційної міцності деталей і виробів, але її вплив до кінця не вивчений.

Розрахунок обґрунтування працездатності та прогнозування надійності деталей і машин вимагає експериментального дослідження та теоретичного аналізу впливу неоднорідного розподілу структурних характеристик і властивостей локальних об'ємів конструкційних матеріалів на їх поведінку при технологічних обробках і експлуатації.

На всіх етапах конструювання та підготовки виробництва машинобудівної продукції в інтегрованих середовищах CAD/CAM/CAE/PLM виникає потреба аналізувати поведінку матеріалів, ставляться питання про сумісне конструювання матеріалів і машинобудівних виробів. Сучасні методи моделювання технологій наплавлення, які використовуються для відновлення геометричних характеристик виробів, дозволяють розраховувати температурні поля та прогнозувати утворення усадкових дефектів. Але існуюче програмне забезпечення не може надійно визначати зони руйнування в наплавлених шарах з врахуванням факторів, що впливають на утворення та розвиток тріщин. В зв'язку із цим потрібні експериментальні та теоретичні розробки для уточнення математичних моделей і розроблення таких комп'ютерних програм.

Високотемпературні дефекти утворюються при охолодженні наплавлених шарів деталей внаслідок стрибкоподібного збільшення густини металу при фазовому переході з рідкого в твердий стан. На заключному етапі затвердівання з наближенням до температури солідус при досягненні певної кількості твердої фази виникає жорсткий каркас з ізольованими об'ємами рідкої фази.

Розтяг рідкої фази в межах двофазної зони зростає із зростанням твердої фази, що сприяє фільтрації розплаву в міждендритний простір. Коли доступ рідини припиняється, створюються умови для формування мікропор і поверхонь поділу з високим рівнем енергії. Від початку усадження до температури солідус існує ефективний інтервал кристалізації, в якому формуються усадкові дефекти – раковини, мікропори, інтеркристалітні тріщини. Такі дефекти є частиною неоднорідної структури наплавлених шарів, і мають значний вплив на довговічність деталей. Під час наплавлення слід враховувати, що структура формується в неідентичних умовах для окремо взятих мікрооб'ємів і областей. Це призводить до просторової неоднорідності структури і полів фізико-механічних властивостей на всіх розмірних рівнях від макро- до мікроскопічних.

Ефективна міцність неоднорідного структурного матеріалу відображає мінімальне руйнуюче навантаження та лімітується локальною міцністю найпослабленіших

мікрооб'ємів. Мікропори та мікротріщини, що з'являються в наплавлених шарах, знижують їх міцність при експлуатації готових виробів. Формування технологічних пошкоджень при наплавленні, їх розвиток при механічному обробленні та експлуатації деталей вивчені недостатньо.

Локальна природа руйнування обумовлює необхідність дослідження процесу накопичення пошкоджень в матеріалах наплавлених шарів в умовах дії зовнішніх навантажень. Багатостадійний процес руйнування включає в себе наступні етапи: 1) накопичення пошкоджень і порушень суцільності матеріалу в полі напружень і деформацій; 2) розвиток мікротріщин в середовищі з мікродефектами; 3) ріст макротріщин при заданих на границях тіла навантаженнях і переміщеннях. Тривалість першої стадії відіграє суттєву роль в загальному або залишковому ресурсі матеріалів [2].

Розробка науково-обґрунтованих рекомендацій по пошуку ознак формування структури з найбільшим опором до утворення і розвитку розсіяних пошкоджень вимагає детального аналізу ролі елементів структури різних рівнів ієрархії у формуванні зернограничних пошкоджень, при утворенні яких витрачається менше енергії [3].

Наплавлення поверхонь деталей викликає дифузійні процеси, перерозподіл домішок і легувальних елементів між внутрішніми об'ємами і поверхнями поділу зерен. Поява сегрегацій вимагає визначення їх впливу на накопичення пошкоджень при дії навантажень, зниження пластичності, опору зношуванню, параметрів міцності поверхонь шарів.

Аналіз впливу структурно-енергетичного стану поверхонь поділу на зносотривкість проводили при дослідженні гребенів колісних пар вагонів після наплавлення електродами Св-08Г2С під флюсом у промислових умовах. Формували чотири валки на відновлюваній поверхні колеса, після чого його повільно охолоджували до температури 55 °С.

Дослідження мікроструктури після іонно-плазмового травлення зразків показали наявність у наплавлених шарах стовпчастих кристалітів, розмір і морфологія яких залежить від теплових умов кристалізації. В області сплавлення двох валків особливістю структури є відсутність орієнтованих стовпчастих кристалів, що суттєво відрізняє її від інших зон наплавленого шару.

Вимірювання показали підвищення твердості і мікротвердості в зоні сплавлення наплавленого металу із основним, а їх значення є вищими в матеріалі колеса, що обумовлено меншим вмістом вуглецю в електроді, який наплавляється. В наплавлених валках мікротвердість осей первинних кристалітів складає 1320 МПа, а міжвісних ділянок – 4650 МПа. Мікротвердість зони сплавлення двох валків з дезорієнтованою структурою має середнє значення 2360 МПа і є однорідною за механічними властивостями.

Інтенсивність зношування наплавленого металу є в чотири рази вищою у порівнянні з основним, що пов'язано з його меншою твердістю. Мікроструктура суттєво впливає на зношування наплавленого шару. Зона сплавлення двох валків має зносотривкість, яка є на 15..18% нижчою зносотривкості зони орієнтованих первинних кристалітів. Прискорене утворення пошкоджень при контактній взаємодії в умовах сухого тертя в зонах сплавлення валків пов'язано із впливом енергетичних характеристик великокутових поверхонь поділу і потрійних стиків зерен. Наявність поверхонь поділу з великою різницею енергій в потрійних стиках зерен сприяє переходу від розсіяних до локалізованих пошкоджень і їх поширенню в зонах сплавлення валків гребенів вагонних коліс.

Висновки.

1. Експлуатаційна надійність вагонних коліс при формуванні градієнтної структури під час наплавлення суттєво залежить від енергетичних параметрів поверхонь поділу складових структури зони контактної взаємодії колесо-рейка.
2. Зростання частки поверхонь поділу зі значною різницею в рівні зернограничної енергії зменшує зносотривкість локальних об'ємів наплавленого шару.

3. При підвищенні однорідності розподілу поверхонь поділу зерен за енергіями ефективно зростає опір утворенню міжзеренних пошкоджень, стійкість до руйнування при контактній взаємодії.

4. Проведена оптимізація технологічних режимів, що використовуються при наплавленні гребенів колісних пар вагонів, за рахунок зменшення кількості зон сплавлення і їх термоциклічної обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kuzin O., Kusiy J., Kuzin N. Analysis of technological damageability of castings manufactured in sand molds // Technology Audit and Production Reserves, 2017. – 3/1(35). – p. 17-23. doi: 10.15587/2312-8372.2017.104769
2. Трощенко В.Т. Усталость металлов. Влияние состояния поверхности и контактного взаимодейсвия/ В.Т. Трощенко, Г.В. Цибанев, Ю.С. Налимов. – К.: ИПП НАН Украины, 2009. – 661 с.
3. Kuzin, O., Lukiyanets, B., Kuzin, N. Continual description of polycrystalline systems taking into account their structure// Technology Audit and Production Reserves, 2018. – 1(45). – p. 25–30. doi: 10.15587/2312-8372.2019.156159

UDC 629.02

CLASSIFICATION OF MEASURES TO INCREASE THE OPERATIONAL RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Taratuta K.
Zaporizhzhia National University

In recent years, Ukraine's metallurgical industry has actively adopted maintenance and repair technologies focused on equipment reliability. Developing measures to increase operational reliability will significantly reduce maintenance costs and increase the repair interval [1, 2].

The aim of this study is to classify the measures that can be taken to increase operational reliability and optimise the work of engineering services at a metallurgical enterprise.

In order to enhance the reliability of complex technical systems under operating conditions, a variety of measures are implemented, which can be categorised into four distinct groups [3, 4]:

1) Development of scientific operating methods;

2) collection, analysis and generalisation of operating experience;

3) connecting design with the production of mechanical engineering products;

(4) advanced training of service personnel.

Scientific methods of operation include the following measures:

1. Scientifically based methods of preparing the product for operation.

2. Carrying out maintenance, repairs, and other measures to increase the reliability of complex technical systems during operation.

The procedures and technologies for carrying out these measures are described in the relevant manuals and operating instructions for specific products.

Collection, analysis and generalisation of operating experience. Organising the collection of information about failures correctly is of great importance. The measures for collecting such information depend on the type of products and how these products are operated. Sources of statistical information include the results of various types of tests and operations, which are periodically issued in the form of reports on the technical condition and reliability of products.

Studying their behaviour enables the accumulated data to be used in the design of future products. Therefore, collecting and generalising data on product failures is an important task that requires special attention.

The effectiveness of operational measures largely depends on the qualifications of service personnel. However, this factor's influence is not consistent. For example, when carrying out fairly simple maintenance operations, the importance of the employee's high qualifications is minimal, whereas the qualifications of the service personnel play a major role in complex operations involving subjective decision-making, such as adjusting hydraulic drive elements, pressure devices and fluid friction bearings.

For complex technical systems, regulatory and technical documentation establishes maintenance types and repair types (current, average, capital). During product operation, the technical and economic consequences of low reliability become apparent, in the form of equipment downtime and costs associated with eliminating failures and purchasing spare parts.

The main methods of increasing the efficiency and durability of parts and assemblies of rolling equipment can be classified as follows: design; technological; organisational measures.

Design measures may include design changes, surface plastic deformation and material improvement.

Technological measures include heat treatment, chemical-thermal treatment, surfacing, spraying and galvanic coating.

Organisational measures are aimed at the diagnosis, prevention and maintenance of rolling equipment.

Measures to increase reliability in design, manufacturing, assembly and installation should also be included.

In order to maintain the reliability of products at a given level during operation, a set of measures must be carried out, which can be presented in two groups:

1) measures to comply with the rules and operating modes;

2) measures to restore working conditions.

The first group of measures includes:

1) training of service personnel;

2) compliance with operational documentation requirements, and the consistency and accuracy of work performed during maintenance;

3) diagnostic control of parameters and the availability of spare parts;

4) author supervision, etc.

The main activities of the second group include: 1) adjustment of the maintenance system; 2) periodic monitoring of the product's condition and determination of its residual resources and limit state using technical diagnostics; 3) implementation of modern repair technology; and 4) analysis of failure causes and organisation of feedback with product developers and manufacturers.

Some products are in storage for a significant proportion of their operational life; that is to say, they are not used for performing the main tasks. For these products, most failures are associated with corrosion, as well as the effects of dust, dirt, temperature and moisture. For products used primarily for the relevant work, most failures are associated with wear, fatigue, or mechanical damage to parts and assemblies. In idle mode, the intensity of element failures is much lower than in working mode.

Thus, to increase the reliability of equipment during operation, enterprises should primarily implement organisational measures aimed at equipment diagnostics, as well as ensuring that maintenance and repairs are carried out in a timely manner.

Conclusions: A classification of measures to enhance operational reliability has been conducted to optimise the performance of engineering services within a metallurgical enterprise.

REFERENCES

1. Taratuta, K., Kulik, T., & Oliinyk, V. (2025). Methodological approaches to the selection of systems reliability-centered maintenance metallurgical equipmenT. Scientific Journal "Metallurgy", (1), 154-162. https://doi.org/10.26661/2071-3789-2025-1-15.

2. Taratuta, L., & Taratuta, K. (2025). Assessment of the economic efficiency of the use of fixed production assets of a metallurgical enterprise. Change Management and Innovation, (14), 52-58. https://doi.org/10.32782/CMI/2025-14-8.

3. Zhuk, A., Malyshev, G., Zhelyabina, N., & Taratuta, K. (2017). Repair of Metallurgical Equipment. Publishing House «Condor». https://doi.org/10.5281/zenodo.16753372

4. Zhuk, A., Malyshev, G., Zhelyabina, N., & Taratuta, K. (2017). Technical Maintenance of Metallurgical Equipment. Publishing House «Condor». https://doi.org/10.5281/zenodo.16753923

УДК 669.1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕЖ МІЦНОСТІ СУЧАСНИХ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ ТА ПІДХІД ДО ФОРМУЛЮВАННЯ КРИТЕРІЮ КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ

Бриков М.М., Гіржон В.В., Климов О.В., Капустян О.Є., Єфременко О.В.
Національний університет «Запорізька політехніка»
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Високоміцні сталі належать до матеріалів, що мають вирішальне значення для виживання цивілізації. Застосування високоміцних сталей забезпечує безпеку людей під час різних катастроф, таких як аварії, землетруси, вибухи тощо. Проаналізовано властивості сучасних високоміцних сталей. Також розглянуто різні комплексні критерії, які використовуються для характеристики якості високоміцних сталей. Показано, що цих критеріїв недостатньо для відображення конструкційної міцності високоміцних сталей та їх адекватного ранжування. Запропоновано та оцінено нові комплексні критерії за допомогою бази даних, що містить інформацію про опубліковані механічні властивості сталей різного складу після термічної обробки, а також експериментальні дані, отримані авторами. Показано, що границя плинності сталі повинна обов'язково включатися до критерію конструкційної міцності. Також відносне видовження робить значний внесок у значення комплексного критерію міцності. Визначено діапазон вмісту вуглецю, де сталі мають найвище значення комплексного критерію міцності.

Фізичний сенс критерію конструкційної міцності сталей – величина роботи руйнування, яку може бути приблизно визначеною за схемою, що наведено на рис. 1. Площа S_1 становить незначну частину загальної площі під кривою руйнування. Найбільша робота витрачається в процесі пластичної деформації зразка. Тому приблизно площу під привою руйнування можна визначити як $S_2+S_3 = 0{,}5\delta(\sigma_в+\sigma_т)$. Відповідно може бути розрахований і критерій конструкційної міцності.

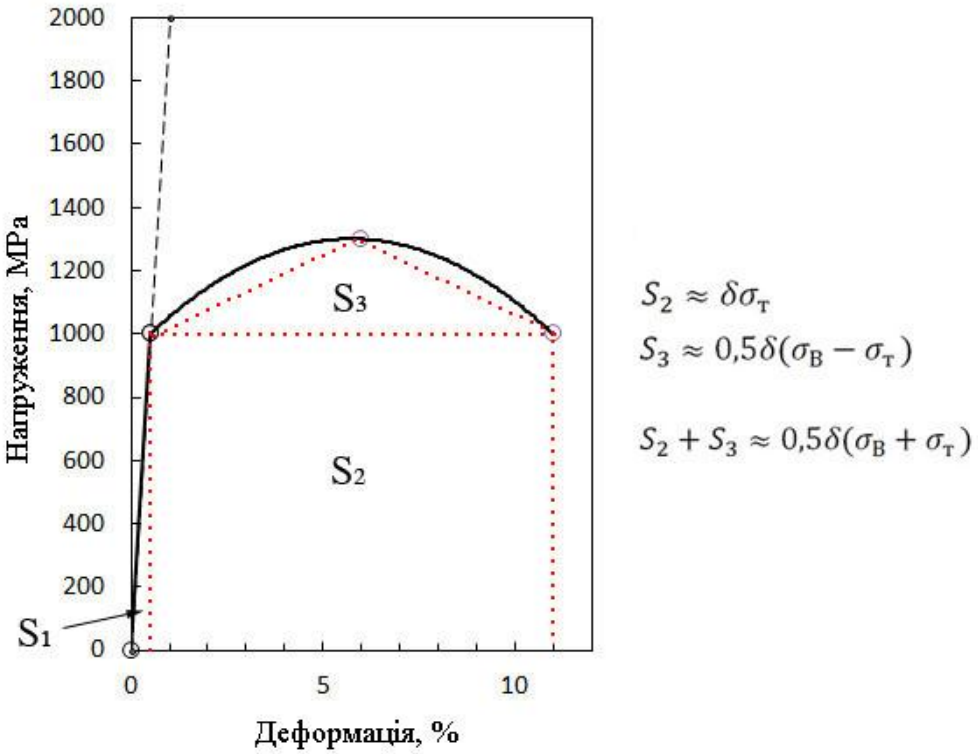


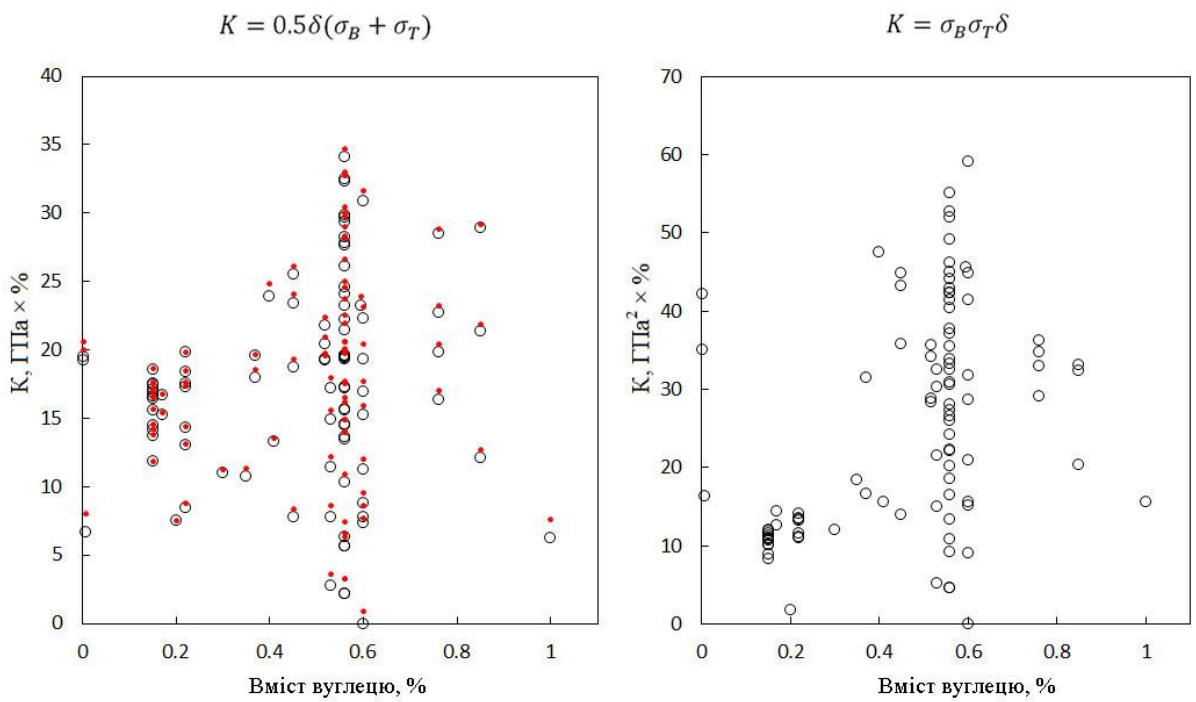
Рисунок 1 – Спрощене визначення площі під кривою руйнування.

Недоліком такого підходу до визначення критерію конструкційної міцності є його неоднозначність, якщо розраховувати за формулою рис.1. Дійсно, уявимо собі дві сталі, одна з яких володіє невеликою міцністю і великим подовженням, а друга – навпаки, великою міцністю і невеликим подовженням. Незважаючи на принципову різницю у властивостях таких сталей, чисельне значення площ під кривими руйнування може бути однаковим.

Запропонуємо альтернативний підхід до розрахунку критерію конструкційної міцності: $K = \sigma_в \cdot \sigma_т \cdot \delta$. На перший погляд, такий вираз не має фізичного сенсу. Але величина, яка розраховується за цією формулою, однозначно характеризує рівень конструкційної міцності сталі: якщо міцність сталі є низькою, то і критерій буде низьким навіть за великого відносного подовження. Зауважимо, що міцність зручно виражати в гігапаскалях (ГПа). Відповідно розмірність критерію конструкційної міцності сталей матиме розмірність [ГПа^2×%].

На рис. 2 наведено дві діаграми, які отримано за результатами наших випробувань і за літературними даними механічних властивостей сталей з різним вмістом вуглецю. Діаграму на рис. 2,а отримано за критерієм $K = 0{,}5 \cdot \delta \cdot (\sigma_в + \sigma_т)$; червоні точки – результати, які отримано з урахуванням площі під прямою в пружній області навантаження. Діаграму на рис. 2,б отримано за формулою $K = \sigma_в \cdot \sigma_т \cdot \delta$. Можна бачити, що ці діаграми майже ідентичні. Отже, критерій $K = \sigma_в \cdot \sigma_т \cdot \delta$ є таким, що є здатним однозначно характеризувати конструкційну міцність сталей.

Аналіз діаграм конструкційної міцності свідчить, що за використання будь-якої формули (див. рис. 2,а та рис. 2,б) критерій конструкційної міцності є максимальним для сталей із вмістом вуглецю 0,5-0,6 %.



а б

Рисунок 2 – Порівняння діаграм, які отримано за різними формулами конструкційної міцності: а) $K = 0{,}5\delta(\sigma_в+\sigma_т)$; б) $K = \sigma_в \cdot \sigma_т \cdot \delta$.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України (проєкт 2021.01/0189).

УДК 621.9-623

ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИПРОБУВАНЬ ДИСТАНЦІЙНО-КЕРОВАНИХ ПЛАТФОРМ ТА АНАЛІЗ ЇХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ПОДАЛЬШИЙ ВПЛИВ НА ПРОЦЕС ПРОЕКТУВАННЯ

Дегтярьов І.М., Петровський М.В., Мірошниченко Д.В., Ланчинський В.Г.
Сумський державний університет

Дистанційно-керовані платформи є майбутнім не тільки у військовій сфері, а і у цивільній, адже такі галузі як доставка набули активного розвитку особливо в умовах локдаунів та взагалі в сучасному суспільстві, яке технологічно значно сильно змінилось. Люди часто перевантажені на роботі обирають відпочинок в умовах віддалених від цивілізації, там куди важко доїхати звичайним автомобілем і навіть позашляховиком у нагоді стануть логістичні платформи. Сучасні глобальні виклики, серед яких війна та стрімкий технологічний розвиток, потребують від України активного впровадження інновацій. Одним із ключових напрямів у цьому контексті є використання дистанційно керованих платформ — наземних, повітряних і морських систем, що дозволяють виконувати завдання без безпосередньої присутності людини в небезпечних умовах. Їхнє впровадження має стратегічне значення як для оборонного сектора, так і для цивільної сфери. У сфері військової логістики наземні роботизовані комплекси можуть доставляти боєприпаси, воду, ліки в небезпечні зони, а також евакуювати поранених, що зменшує

кількість втрат серед військових. Так, зокрема на евакуацію одного пораненого потрібно не менше чотирьох людей, в той час як можна використати одну платформу і не піддавати ризику особовий склад.

Проте для руху у важкопрохідних умовах треба щоб дані системи та комплекси були надійними і безвідмовними, що стосується особливо військової сфери їх застосування. Враховуючи це необхідно випробовувати ці платформи та давати можливість конструкторам вносити зміни у поліпшення конструкторських рішень, що дозволить в кінці досягнути мети, а саме відповідності заявленим тактико-технічним характеристикам.

Тому варто виділити ключові етапи випробувань, а саме:

- випробування в дорожніх умовах при їзді з максимальним завантаженням по пересічній і гірській місцевостям;
- випробування в дорожніх умовах при їзді з максимальним завантаженням по водним перешкодам і в дощ;
- випробування в дорожніх умовах при їзді без завантаження та з максимальним завантаженням по засніжених та льодових дорогах у гірській місцевості;
- випробування в мороз з мінімальним зарядом акумулятора;
- формування списку відмов під час випробувань, що описані вище;
- передача списку відмов у відділ розробників;
- зміна конструктивних елементів або комплектуючих платформи;
- зміна конструкторської документації;
- виготовлення деталей за новими кресленнями і повторні випробування.

Висновки. В роботі представлені основні етапи випробування наземних дистанційно-керованих платформ, що дає розуміння і зворотній зв'язок проектувальникам обладнання даного типу та дозволяє поліпшити його характеристики і вдосконалити технічні рішення для нових прототипів.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України проєкт «Роботизована дистанційно-керована платформа подвійного призначення» реєстраційний номер № 2023.04/0131.

УДК 629.3

ВАЖЛИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНО-КЕРОВАНИХ ПЛАТФОРМ У СИЛИ ОБОРОНИ ТА У ГАЛУЗІ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

Дегтярьов І.М., Петровський М.В., Мірошниченко Д.В., Леонтьєв П.В., Журба В.О.
Сумський державний університет

Сучасні глобальні виклики, зокрема війна та швидкі темпи технологічного прогресу, вимагають від України впровадження інноваційних рішень. Одним із ключових напрямів є дистанційно-керовані платформи – наземні, повітряні та морські системи, які дозволяють виконувати широкий спектр завдань без прямої участі людини у небезпечних умовах. Їхнє застосування є стратегічно важливим як у сфері оборони, так і в народному господарстві.

У військовому застосуванні дистанційно-керовані платформи суттєво змінюють характер ведення сучасних бойових дій, адже дозволяють виконувати завдання без прямої участі військових у зоні ризику. Передусім вони широко використовуються для розвідки та моніторингу, адже безпілотні системи забезпечують цілодобове спостереження за полем бою та дозволяють виявляти пересування техніки й особового складу противника.

У логістичній сфері наземні роботизовані комплекси здатні доставляти боєприпаси, воду, медикаменти у небезпечні райони, а також евакуювати поранених, що значно знижує втрати серед особового складу. Не менш важливим є застосування дистанційно-керованих систем для вогневого ураження: дрони-камікадзе та інші безпілотні комплекси забезпечують точкові удари по стратегічних цілях ворога, мінімізуючи ризик для цивільного населення. Окрему роль відіграє інженерна підтримка де роботизовані комплекси успішно застосовуються для розмінування, будівництва фортифікаційних споруд та нейтралізації вибухонебезпечних предметів, що дозволяє зберегти життя військових саперів і значно пришвидшити темпи виконання завдань.

У цивільному та господарському застосуванні дистанційно-керовані платформи відіграють дедалі важливішу роль, адже вони стають складовою модернізації економіки та системи громадської безпеки. Найбільший розвиток такі технології отримали у сільському господарстві, де аграрні безпілотники здійснюють внесення добрив і пестицидів, моніторинг стану ґрунтів та культур, що сприяє підвищенню врожайності та зменшенню виробничих витрат. У транспорті та логістиці дистанційно-керовані платформи й літальні апарати дозволяють доставляти вантажі у важкодоступні райони, зокрема під час надзвичайних ситуацій, що значно розширює можливості гуманітарної допомоги. В інфраструктурній та енергетичній сферах дистанційні системи використовуються для регулярного обстеження мостів, дамб, трубопроводів і ліній електропередач, що зменшує ризик аварій та дозволяє своєчасно проводити профілактичні роботи. Окремо варто відзначити роль дистанційно-керованих платформ у рятувальних операціях: вони застосовуються під час ліквідації наслідків стихійних лих, у пошуку людей під завалами, а також у моніторингу пожеж і повеней, що значно підвищує ефективність реагування на надзвичайні ситуації та збереження людських життів.

Висновки. В роботі розглянуті дистанційно-керовані платформи різних модифікацій як ключовий інструмент технологічної трансформації України. Інвестування в ці технології є інвестицією у безпеку, стабільність та конкурентоспроможність держави у майбутньому.

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України проєкт «Роботизована дистанційно-керована платформа подвійного призначення» реєстраційний номер № 2023.04/0131.

УДК 621.7.01

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Денисюк В.Ю., Остаповець А.О.
Луцький національний технічний університет

Сучасні технології адитивного виробництва стрімко розвиваються та знаходять застосування у різних галузях промисловості – від авіа- й машинобудування до автомобілебудування. Вони вже вийшли за межі прототипування й одиничного виробництва, перетворившись на повноцінний інструмент серійного виготовлення деталей. У найближчому майбутньому такі методи можуть замінити традиційне лиття, механічну обробку та штампування. Однією з ключових переваг є можливість створювати цілісні вироби, що замінюють складальні вузли з десятків елементів [1].

Поширенню адитивних технологій сприяють такі фактори, як економія матеріалу, виготовлення деталей складної геометрії, зменшення часу від ідеї до готового виробу, унікальні властивості матеріалів і можливість надання їм анізотропних характеристик [2].

Разом з тим, виникає потреба у розробці методів контролю якості на всіх етапах життєвого циклу виробу. Вчасне виявлення дефектів у процесі формування шарів дозволить оперативно їх усувати, підвищуючи надійність і довговічність продукції для авіаційної, енергетичної та машинобудівної галузей [3, 4].

Найбільш затребуваними нині є три методи:

– пряме лазерне нанесення металу – універсальний спосіб для виготовлення й ремонту деталей, що забезпечує високу продуктивність і можливість створення великогабаритних елементів, але обмежений у формуванні внутрішніх каналів та сітчастих структур;

– селективне електронно-променеве плавлення – технологія з використанням електронних гармат у вакуумі, яка забезпечує високу міцність деталей, проте поступається у точності через велику зону плавлення;

– селективне лазерне плавлення – один із найперспективніших методів, що передбачає пошарове спікання порошку лазером високої потужності відповідно до параметрів САПР.

Виготовлення деталей методом селективного лазерного плавлення відбувається поетапно.

1. Створення моделі у САПР.
2. Підготовка до друку на спеціалізованому обладнанні.
3. Нанесення тонкого шару порошку (метал, пластик тощо) у будівельній камері.
4. Локальне плавлення порошку лазером.
5. Опускання платформи та повторення циклу до формування готового виробу.

Основними перевагами методу є широкий вибір матеріалів, висока точність, можливість створення внутрішніх каналів і тонких стінок, що робить його затребуваним в авіаційній та оборонній промисловості. Недоліки – низька продуктивність і висока ймовірність утворення внутрішніх дефектів [1, 4].

Спечений матеріал характеризується пористістю, яка визначається не лише кількістю, а й формою та розмірами пор. Вона суттєво впливає на міцність, пластичність, пружні та в’язко-пластичні властивості. Окремі пори чи раковини можуть стати концентраторами напружень, що різко знижує міцність виробів, особливо при утворенні клиноподібних пор, подібних до тріщин.

На якість готових виробів впливають технологічні параметри: крок друку, швидкість сканування, товщина шару, тип порошку, потужність лазера та умови інертного середовища. Помилки у виборі цих параметрів спричиняють три основні типи дефектів:

– пористість;

– порожнини від неповного плавлення;

– тріщини.

Для забезпечення необхідних властивостей деталей адитивного виробництва важливо контролювати не лише параметри процесу плавлення (потужність і режим роботи лазера, температуру, швидкість та крок сканування), а й застосовувати методи неруйнівного контролю.

Руйнівні методи дозволяють з високою точністю визначати внутрішні напруження, але вони пошкоджують виріб (свердління, вирізання, нанесення міток), що робить його непридатним для подальшого використання. Тому частіше їх застосовують опосередковано – для зразків-свідків.

Неруйнівний контроль має значні переваги: він дозволяє виявляти зародження й розвиток дефектів, визначати фізико-механічні характеристики матеріалу як у готовому виробі, так і під час процесу друку.

Можливості різних методів неруйнівного контролю.

1. Візуальний/оптичний контроль – дефекти на поверхні, застосування луп, мікроскопів, камер.

2. Ультразвуковий контроль – виявлення тріщин, пор, контроль мікроструктури, механічних властивостей, залишкових напружень.

3. Вихрострумовий контроль – дослідження мікроструктури та поверхневих дефектів.

4. Радіографічний контроль – візуалізація внутрішніх дефектів і геометрії.

5. Магнітний контроль – виявлення поверхневих тріщин і залишкових напружень.

6. Капілярний контроль – локалізація поверхневих мікротріщин.

7. Ширографія та термографія – контроль розвитку тріщин, неоднорідностей, термографія чутлива до теплових аномалій.

8. Комп'ютерна томографія – високоточна візуалізація внутрішньої структури з нанометровою роздільною здатністю.

9. Акустичні методи – визначення міцності, твердості, пружності матеріалів.

До найбільш універсальних методів відносять ультразвуковий контроль, комп'ютерну томографію та термографію. Водночас існують обмеження: більшість методів застосовуються лише на фінальних етапах виготовлення, а специфічні дефекти (наприклад, порожнини з несплавленим порошком у виробах SLM) залишаються невиявленими.

Висновки. Адитивне виробництво має значні переваги над традиційними методами, але потребує комплексного контролю якості. Ключова проблема – утворення внутрішніх дефектів, що знижують надійність деталей. Ефективність контролю підвищується за рахунок комбінування різних неруйнівних методів. Перспективним напрямом є інтеграція систем контролю безпосередньо у процес виготовлення виробу, що дозволить своєчасно виявляти та усувати дефекти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пупань Л. І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2023. 91 с.
2. Манжілевський О. Д., Іскович-Лотоцький Р. Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2021. 105 с.
3. Ганєєв Т. Р., Прибитько І. О., Руденко М. М., Петренко І. О. Адитивні технології: навч. посіб. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. 105 с.
4. Денисюк В.Ю. Аналіз сучасних технологій контролю виробів адитивного виробництва. «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. Луцьк, 2025. Вип. 26. С. 57-65.

УДК 621.941-229.3:531.133

АНАЛІЗ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО РОЗМІРУ ХОНА В УМОВАХ ДИНАМІКИ

Щербина К.К., канд. техн. наук, доцент
Мандзюк Д.В., аспарінт
Центральноукраїнський національний технічний університет

В процесі фінішної обробки отворів з застосування хонінгувальних головок та хонів найбільш вагомим показником, котрий впливає на точність та якість є процес регулювання радіального розміру з подальшим створенням питомого тиску.

Регулювання радіального розміру відбувається в умовах перехідного режиму через низькі швидкості процесу та незначний час його виконання. Це зумовлює необхідність

аналізу функціонування системи регулювання радіального розміру (СРРР) з урахуванням її динамічних характеристик. З цієї позиції розглядатимуться умови роботи СРРР для різних конструктивних схем.

Особливу увагу приділено перевірці стійкості СРРР, що реалізуються за програмним керуванням у режимі під наладки, без застосування адаптивних алгоритмів. Для підвищення достовірності оцінки проводиться аналіз окремих функціональних елементів, які формують СРРР [1]. При цьому враховуються додаткові вимоги до СРРР, серед яких:

1. Вимоги до забезпечення стійкості функціонування СРРР:

1.1. Використання пропорційних (безінерційних) ланок у складі СРРР, що базуються на таких фізичних властивостях матеріалів:

- пружність металу;
- взаємодія гідростатичного тиску рідини з пружністю металу без виникнення фрикційних переміщень.

1.2. Застосування єдиного функціонального середовища — зокрема, гідравлічної рідини — одночасно як робочого середовища для приводу виконавчих механізмів та як середовища для передачі керуючих сигналів прямої дії без необхідності додаткових перетворень.

З дотриманням наведених вимог розглянемо СРРР з гідравлічним приводом. Гідравлічна СРРР (рис. 1) [2] складається з золотникового гідророзподільника , гідравлічного циліндра та клинової кінематичної пари .

Для визначення передавальної функції гідравлічної системи регулювання радіального розміру (СРРР) необхідно виконати добуток передавальних функцій окремих її елементів — зокрема клинової кінематичної пари та гідравлічної ланки.

Слід зазначити, що передавальна функція гідравлічної ланки моделює динамічну поведінку гідравлічного циліндра та золотникового гідророзподільника в умовах перехідного режиму, враховуючи інерційність, стисливість робочої рідини та втрати тиску в каналах.

$$W_{\Gamma} = \frac{s_k}{z_з} = \frac{1}{tg\alpha_к \left(m_k p^2 + \mu_k p\right)} * \frac{\left(k_x / U_p\right)}{\left(\left[\frac{1}{U_p}\sqrt{\frac{Vm_p}{2E}}\right]^2 p^2 + \frac{k_Q}{U_p}\sqrt{\frac{m_p E}{2V}}p + 1\right)} \qquad (1)$$

де kx – коефіцієнт характеристики переміщення золотника гідророзподільника;

zз – переміщення золотника;

kQ – коефіцієнт витратної характеристики гідророзподільника;

Q – об’ємна подача рідини; mp – маса поршню;

V – об’єм стискаємої рідини;

Up – площа поршню;

E – модуль пружності рідини;

α – кут підйому клина;

μк – коефіцієнт тертя клинової кінематичної пари;

mk – маса рухомих частин клинової кінематичної пари.

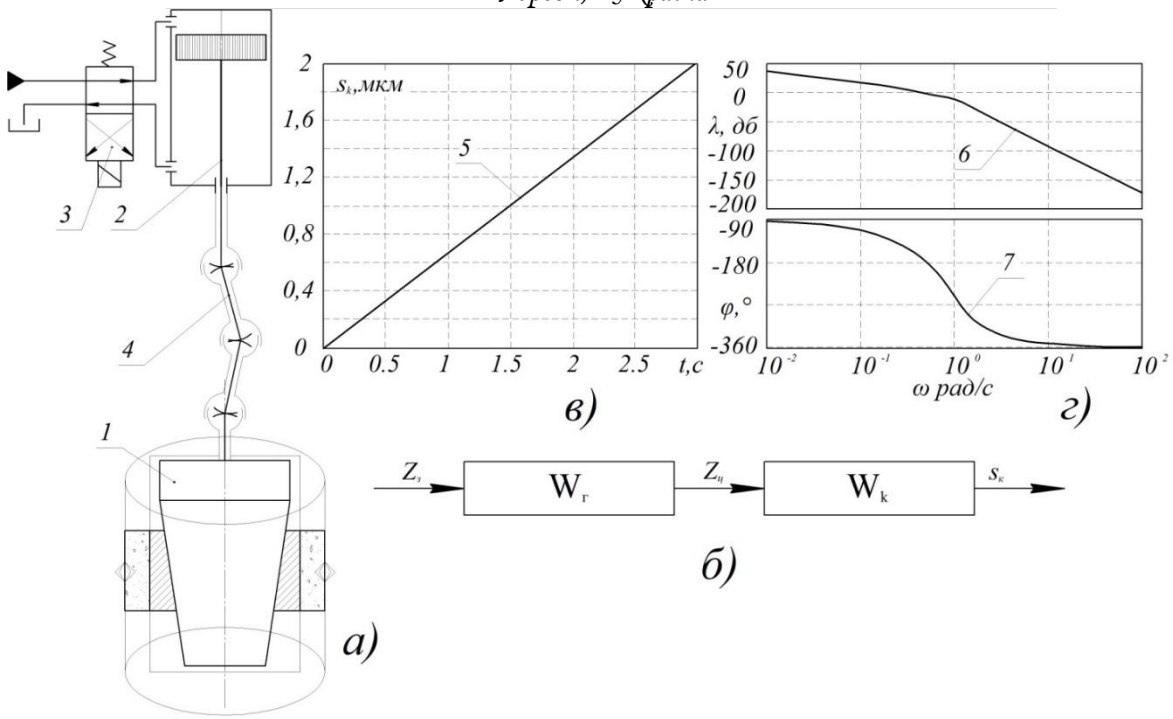


Рис. 2. Гідравлічна СРРР та характеристика перехідного процесу

а) конструктивна схема; б) структурна схема; в) перехідна характеристика;
г) логарифмічно-частотні характеристики;

1 – клинова кінематична пара; 2 – гідроциліндр; 3 – гідророзподільник; 4 –шарнірна підвіска; 5 – перехідна характеристика вихідної величини ρк= f(t); 6 – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика; 7 – логарифмічна фазово-частотна характеристика.

Побудована перехідна характеристика гідравлічної системи регулювання радіального розміру (СРРР) виявила наявність розузгодження між вхідним і вихідним сигналами, що зумовлює виникнення несталого руху і, як наслідок, зниження точності регулювання радіального розміру. Основною причиною цього є вплив статичного та кінетичного тертя з нелінійною характеристикою в області малих переміщень, що спричиняє автоколивання в системі.

Аналіз побудованих логарифмічних частотних характеристик показав, що динамічні властивості гідравлічної СРРР не відповідають критеріям стійкості. Це також підтверджується амплітудно-фазовою частотною характеристикою, зокрема показником запасу фази, який свідчить про потенційну нестабільність функціонування системи.

Список посилань

1. Підгаєцький М.М., Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки / Підгаєцький М.М., Щербина К.К., Мажара В.А., Дяченко Т.В. /Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2019. – Вип.49. – С.194-200.

2. Підгаєцький М.М. Динамічний аналіз традиційних систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів/ М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина// Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. –2014. – №3 (213). – С.134-138

УДК 378.091.313: 004.89]:669

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ G10 «МЕТАЛУРГІЯ»

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Борсук С.А.[1]
[1]Запорізький національний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

При впровадженні онлайн-освіти виникає проблема у представленні навчального контенту, який буде враховувати загально-світові тенденції, що спрямовані на гнучкість та доступність освіти [1]. Розумні технології, такі як штучний інтелект (ШІ), цифрові двійники, віртуальна та доповнена реальність, дозволяють оптимізувати освітній процес, підвищити його ефективність і зменшити затрати часу на навчання завдяки новому етапу автоматизації [2]. Серед найкращих платформ та інструментів штучного інтелекту (ШІ) слід виділити: Stable Diffusion, ComfyUI, Invoke AI, Whisper AI, DeepFaceLab, Coqui-ai, Obabooga [3], ChatGPT, Rytr, Ideogram AI, AutoDraw, Plus AI [4] та інші.

Серед викликів стосовно використання систем штучного інтелекту, з якими стикаються сучасні заклади вищої освіти, є: проблема етики, забезпечення конфіденційності та безпеки, недостатній рівень сформованості цифрової компетентності в аспекті штучного інтелекту, фрагментарність навчального й науково-методичного забезпечення впровадження ШІ в освітній процес [5].

Штучний інтелект дозволяє оцінювати вирішення проблем у реальному часі та покращує процес оцінювання здобувачів вищої освіти [6, 7]. Наприклад, чат-боти пропонують здобувачам освіти персоналізований та інтерактивний досвід навчання, надаючи цілодобову підтримку та покращуючи доступність [7].

Одним із потенційних напрямів використання ШІ як помічника викладача є відбір навчального матеріалу, оптимального до відповідної аудиторії, навчальної програми курсу, цікавим і корисним щодо майбутньої професії. Актуальності набувають мобільні додатки, що використовуються: як помічники у вивченні навчального матеріалу та його закріпленні; як аналітик у процесі збирання інформації під час виконання вправ у вирішенні питань, що викликають певні труднощі, помилки та значні витрати часу. На підставі одержаної інформації ШІ може надавати звіт викладачу, а він, у свою чергу, має змогу коригувати свій курс. В інтернеті є багато ресурсів, що дозволяють викладачеві досягти своєї мети. Наприклад, сервіс «SendPulse» пропонує візуальний конструктор бота, який можна підключити до мережі. Конструктор вельми простий за своєю структурою і містить 4 основних блока: повідомлення, ланцюжок, дія і пауза. В алгоритмі поведінки бота можна задати розклад розсилок і сам зміст розсилок. Зміст може бути не тільки текстом з теорією, а й посиланням на відеолекції, вебінар, освітній ресурс або текст, створений в «GoogleForms». На додаток «GoogleForms» можна використовувати не тільки для проходження тематичних тестів, а й збирання статистики для забезпечення зворотного зв'язку [8].

Наслідками використання штучного інтелекту студентів інженерії в Китаї є позитивний вплив ШІ на їх ефективність навчання, ініціативність та творчості [9].

Наприклад, використання штучного інтелекту здобувачами вищої освіти, які навчаються за спеціальністю G10 «Металургія», дозволить удосконалити наступні напрями:

1. Оптимізувати металургійні процеси.

Штучний інтелект може аналізувати великі обсяги даних з датчиків, історичних

записів та параметрів виробництва для оптимізації процесів обробки та виробництва в металургії. Визначаючи закономірності та кореляції, алгоритми можуть запропонувати коригування параметрів та оптимальних умов виробництва, що призводить до збільшення виробництва відповідних продуктів, зменшення споживання енергії та підвищення загальної ефективності процесу.

2. Провести контроль якості та виявлення дефектів металопродукції.

За допомогою алгоритмів штучного інтелекту можна ідентифікувати поверхневі дефекти металопродукції за допомогою таких методів, як розпізнавання зображень. Аналізуючи зображення чи відео, штучний інтелект може швидко та точно виявляти дефекти, які можуть бути не видно людському оку.

3. Провести прогнозування технічного обслуговування.

Алгоритми штучного інтелекту можуть використовувати дані датчиків та методи машинного навчання для прогнозування збоїв обладнання або необхідності обслуговування в металургійних процесах. Відстежуючи такі змінні, як температура, тиск, вібрація та інші важливі параметри, штучний інтелект може генерувати сповіщення та прогнози в режимі реального часу, забезпечуючи активне обслуговування та мінімізацію дорогих простоїв.

4. Проводити вибір матеріалів та проєктування сплавів.

Штучний інтелект може проаналізувати величезні бази даних про властивості матеріалів, фізичних характеристик та експлуатаційних характеристик, допомагаючи у виборі матеріалів та розробці сплавів. Враховуючи конкретні вимоги та обмеження, алгоритми штучного інтелекту можуть запропонувати оптимальні матеріали або їх комбінації, сприяючи розробці високоефективних сплавів у металургії [10].

Згідно з рекомендаціями щодо відповідального впровадження та використання технологій штучного інтелекту в закладах вищої освіти України, наданими Міністерством цифрової трансформації України та Міністерством освіти і науки України [11] використання систем ШІ в закладах вищої освіти рекомендовано врегулювати шляхом ухвалення відповідних політик, правил, процедур тощо:

– на рівні закладу вищої освіти – органом управління закладу вищої освіти;

– на рівні структурних підрозділів закладу вищої освіти (факультетів, кафедр та інше) – керівником відповідного структурного підрозділу (варіант – вченими радами або іншими колегіальними органами управління відповідних структурних підрозділів).

У зазначених рекомендаціях [11] представлено:

– алгоритми оцінки ризиків та чеклісти для впровадження;

– приклади використання ШІ для викладачів і здобувачів вищої освіти (наприклад, програми GitHub Education for Teachers, GitHub Education for Students, GitHub Education for Schools, Azure for Students, AAWS Academy, WS Educate, Canva for Education та інші);

– міжнародний досвід інтеграції ШІ в освіту;

– висвітлення етичних, правових та безпекових аспектів роботи з ШІ.

Висновки. Своєчасне впровадження інформаційних технологій в освітній процес ЗВО – це шлях до модернізації освіти, інновацій та підвищення конкурентоспроможності українських ЗВО на глобальній арені. Використання штучного інтелекту в освітньому процесі дасть змогу:

– викладачам генерувати та перевіряти тести, створювати презентації, аналізувати навчальні досягнення здобувачів вищої освіти та інше;

– здобувачам вищої освіти займатися пошуком інформації для наукових робіт, при підготовці до іспитів або заліків, генерації ідей для презентацій, отримання зворотного зв’язку на наукові роботи, вивчення мов;

– керівникам ЗВО оптимізувати адміністративні процеси (наприклад, заповнювати документацію, писати відповіді на запитання та інше).

Під час освітнього процесу викладачі та здобувачі вищої освіти можуть використовувати наступні програми штучного інтелекту: GitHub Education for Teachers,

GitHub Education for Students, GitHub Education for Schools, Azure for Students, AAWS Academy, WS Educate, Canva for Education та інші.

ЛІТЕРАТУРА

1. Особливості впровадження технологій дистанційного навчання в освітній процес закладів професійної освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://naurok.com.ua/osoblivosti-vprovadzhennya-tehnologiy-distanciynogo-navchannya-v-osvitniy-proces-zakladiv-profesiyno-osviti-401767.html (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

2. Canonical correlation analysis and a new composite index on digitalization and labor force in the context of the industrial revolution 4.0 [Електронний ресурс] / A.-M. Androniceanu, I. Georgescu, M. Tvaronavičiene, A. Androniceanu // Sustainability (Switzerland). – 2020. – No 12. – Режим доступу: https://cutt.ly/ zwDHrHzY (дата звернення 22.12.2023). – Назва з екрана.

3. Найкращі AI з відкритим вихідним кодом: Топ 17 найкращих платформ та інструментів штучного інтелекту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://profitstore.ua/uk/blog/research/najkraschi-ai-z-vidkrytym-vyhidnym-kodom (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

4. Топ-10 ШІ для роботи, навчання і творчості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kau.com.ua/top-10-shi-dlia-roboty-navchannia-i-tvorchosti/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

5. Гриценчук О. Використання штучного інтелекту в освіті: тенденції та перспективи в Україні та за кордоном / О. Гриценчук // Вісник Кафедри ЮНЕСКО «Неперервна професійна освіта XXI століття». – 2024. Вип. 10. – С. 152–161.

6. Як штучний інтелект змінює освіту: інноваційна технологія проти консервативної традиції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.kunsht.com.ua/articles/shi-ta-vyklyky-v-osviti-iak-poyednaty-innovatsiynu-tekhnolohiiu-z-konservatyvnoiu-tradytsiyeiu– Назва з екрана.

7. Як ШІ впливає на систему освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.facerua.com/iak-shi-vplivaie-na-sistiemu-osviti/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

8. Використання штучного інтелекту в освіті /І. М. Візнюк [та ін.] // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців:методологія, теорія, досвід, проблеми. – 2021. – Вип. 59. С. 14–21.

9. Lei Fan, Educational impacts of generative artificial intelligence on learning and performance of engineering students in China /Lei Fan, Kunyang Deng, Fangxue Liu //[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2505.09208 (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

10. By Francisco Ríos/ HOW TO APPLY ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN METALLURGY? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://futureoftechnology.medium.com/how-to-apply-artificial-intelligence-in-metallurgy-2e987a2fa1d9 (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

11. Рекомендації щодо відповідального впровадження та використання технологій штучного інтелекту в закладах вищої освіти України chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cms.thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/docs/Vykorystannya_AI_u_vyshchyy_osviti.pdf (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

УДК 004.89:669

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕТАЛУРГІЙНІЙ ГАЛУЗІ

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Іванніков С.В.[1]
[1]Запорізький національний технічний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

Штучний інтелект (ШІ) у металургії – це не тільки технологічний прорив, а й революція у виробництві. Він покращує процеси, підвищує ефективність і якість продукції, скорочує витрати і знижує вплив на навколишнє середовище. Металургійна промисловість України має великі можливості для впровадження та використання штучного інтелекту, що допоможе їй зберігати конкурентоспроможність та успішно розвиватися в умовах сучасної технологічної ери [1].

Згідно даним [2] 19% металургійних компаній систематично застосовують штучний інтелект для перетворення своїх процесів, 31% використовують дані разом зі штучним інтелектом для досягнення експоненціального зростання, 37% переосмислюють взаємодію людей і машин.

В процесі оптимізації процесу плавки металу за допомогою ШІ відбувається: аналіз величезних обсягів даних у реальному часі; оптимізація параметрів плавки для досягнення найкращих результатів; прогнозування та запобігання дефектам і відмовам.

При автоматизації контролю якості із застосуванням ШІ відбувається: автоматичне виявлення дефектів і аномалій; поліпшення точності та консистентності контролю якості; скорочення часу контролю і зниження суб'єктивних помилок.

Оптимізація планування виробництва та логістики за допомогою штучного інтелекту дозволяє: аналізувати данні і проводити прогнозування для оптимізації розподілу ресурсів; управляти запасами з урахуванням прогнозів і потреб клієнтів; проводити скорочення витрат і поліпшення термінів виконання замовлень.

Розглядаючи внесок ШІ в екологічну стійкість слід відмітити: зниження витрат енергії, сировини та викидів шкідливих речовин; оптимізацію процесів для більш ефективного використання ресурсів; підтримки сталого та екологічно чистого виробництва [1].

Вплив штучного інтелекту на управління ланцюгом поставок дуже великий. Системи ШІ можуть оптимізувати управління запасами, прогнозувати коливання попиту та оптимізувати логістичні операції. Аналізуючи дані в режимі реального часу, штучний інтелект може виявити потенційні збої та запропонувати проактивні заходи для пом'якшення ризиків, забезпечуючи плавну та стійку систему поставок. Ця здатність не тільки підвищує ефективність, але й сприяє стійкості за рахунок зменшення відходів і покращення використання ресурсів [3].

Згідно даним [4] є 10 способів використання ІШ в сталеливарній промисловості:

1. Прогнозоване обслуговування.

Засоби ШІ на кшталт машинного навчання можна використовувати задля ефективного прогнозування негараздів з обладнанням та попередження збоїв. Алгоритми дозволять оптимізувати графік технічного обслуговування так, аби кожен верстат на підприємстві отримував своєчасну профілактику [5].

Наприклад, Tata Steel успішно впровадила штучний інтелект для прогнозного обслуговування на своїх прокатних станах, досягнувши 15% скорочення незапланованих простоїв та значної економії витрат на технічне обслуговування [4].

2. Оптимізація процесу.

Штучний інтелект у металургії може проаналізувати різні фактори, що впливають на виробничі процеси та знаходити оптимальні параметри для підвищення продуктивності та ефективності. Це може стосуватися оптимального використання ресурсів, мінімізувати відхід та вибір обладнання [6].

Наприклад, компанія ArcelorMittal використала ШІ для оптимізації процесу плавки сталі, досягнувши 5% скорочення споживання енергії та покращення виробничих потужностей [4].

3. Контроль якості та виявлення дефектів

ШІ дозволяє інженерам контролювати та оптимізувати параметри, що впливають на якість продукції. Це допомагає визначити та усунути дефекти, забезпечити стабільну якість та мінімізувати кількість падінь [6].

Системи комп'ютерного зору та сенсори IoT на основі ШІ можуть забезпечити точний й повністю автоматизований контроль за якістю продуктів, які виходять з виробничої лінії. Інтеграція ШІ у виробництво дозволяє мінімізувати кількість браку та визначити фактори виникнення дефектів [5].

Наприклад, впровадження Toyota методів візуального контролю на базі штучного інтелекту сприяло скороченню кількості дефектів на 30%, підкріплюючи відданість компанії цілісності продукції [4].

4. Управління ланцюгом поставок.

Наприклад, японська компанія Nippon Steel Corporation використовує прогнозування на основі штучного інтелекту для управління резервами та логістикою. Система аналізує тенденції ринку та дані історичного виробництва з метою прогнозування попиту, забезпечення придбання та транспортування необхідної кількості сировини, мінімізації витрат та запобігання перенаселенню [4].

5. Енергоефективність та стійкий розвиток.

Алгоритми штучного інтелекту можуть проаналізувати величезні набори даних до налаштованих параметрів, що призводить до підвищення ефективності, зниження відходів і, зрештою, економії витрат. Цей перехід до розумного виробництва не тільки підвищує продуктивність праці, але й позиціонує галузь як передумови в стійкій практиці [7].

Наприклад, шведський виробник SSAB використовує ШІ для оптимізації експлуатації електричних дугових печей, що призводить до підвищення ефективності споживання енергії. Налаштуючи споживання енергії залежно від потреб у виробництві, компанія змогла зменшити споживання енергії на 7% та значно зменшити викиди вуглецю [4].

6. Планування виробництва та управління персоналом.

Наприклад, американська корпорація Nucor Company використовує планування на основі штучного інтелекту для оптимізації виробничих змін та використання обладнання. Їх система врівноважує роботу, враховуючи наявність обладнання, забезпечення ефективного розподілу робочих місць та мінімізації вузьких місць у виробництві [4].

Штучний інтелект на обійшов увагою і автоматизацію та інтеграцію робочої сили. Майбутні тенденції вказують на те, що автоматизація не лише замінить ручні завдання, але й вимагатиме робочої сили, яка вміє ефективно використовувати інструменти штучного інтелекту. Це вимагає розробки навчальних програм, спрямованих на забезпечення працівників необхідними навичками для процвітання в середовищі, вдосконаленому штучним інтелектом, забезпечуючи гармонійну інтеграцію між людським досвідом та можливостями машин [8].

7. Розробка та конфігурація продукту.

Наприклад, Hyundai Steel використовує штучний інтелект для розробки сталевих брендів, адаптованих до автомобільної промисловості. Аналізуючи переваги клієнтів та оперативні характеристики, компанія оптимізувала сталевий сплав високої тривалості, що

легко та довговічно, що допомагає автовиробникам спостерігати за викидами та підвищити безпеку транспортних засобів [4].

З метою забезпечення безпеки працівників компанія Metinvest Digital розробила та впровадила платформу SPAIS. Ця система на базі штучного інтелекту дозволяє в режимі реального часу відстежувати переміщення співробітників у небезпечних зонах, наявність засобів індивідуального захисту, а також виявляти пожежонебезпечні ситуації, зокрема дим та вогонь. Рішення вже використовується на підприємствах Групи Метінвест та демонструє ефективність у запобіганні нештатним ситуаціям [9].

8. Покращення безпеки.

Наприклад, південнокорейський сталевий гігант Posco інтегрує штучний інтелект у свої системи безпеки на робочому місці. Камери, оснащені алгоритмами ШІ, контролюють потенційну небезпеку на об'єкті, наприклад, вхід працівників у небезпечні райони або несправності обладнання. Система негайно повідомляє менеджерів, що зменшує кількість аварій у виробництві на 12% [4].

9. Аналіз ринку та стратегії ціноутворення

Наприклад, індійська сталева компанія Jindal Steel та Power Limited використовує машинне навчання для аналізу тенденцій ринку та конкурентів ціноутворення. Це допомогло їй визначити розвиваючі ринки та розробити конкурентні цінові стратегії, що дозволило їй підтримувати частку ринку та збільшити дохід [4].

10. Дослідження та розробки.

Відомі дослідження застосування штучного інтелекту для прогнозування властивостей металевих матеріалів із акцентом на інтеграції моделей машинного навчання та даних, керованих методами. Результати дослідження свідчать про значний прогрес у точності та ефективності прогнозування властивостей, показуючи, як штучний інтелект може ефективно моделювати складні взаємозв’язки між складом матеріалу, умовами обробки та отриманими в результаті властивостями [10].

Так наприклад, американська компанія AK Steel, виробник сталі, використовує штучний інтелект для аналізу експериментальних даних при розробці нових сталевих сплавів з високою тривалістю. Прискоривши вибір потенційних матеріалів, компанія скоротила час виведення нового бренду на ринок на 30%, випереджаючи конкурентів з точки зору інновацій [4].

Влітку 2023 року, на Європейській виставці METES 2023 в Дюссельдорфі, команда Medi Technology представила унікальну розробку – консалтингову програму MetalicMind. Це віртуальний помічник на основі мови GPT (генерувати попередньо підготовлений трансформатор) та навчений широким спектром документів, включаючи власні розробки важких технологій та впроваджених рішень для підприємств, енциклопедичних статей, наукових творів, дисертацій та багатьох інших джерел та оцифрованих спеціалістами компанії. MetalicMind стане найнадійнішим та корисним помічником у вирішенні складних проблем енергії та металургії. Ми створили додаток, який може надати рішення на основі досвіду сотень фахівців та тисяч наукових розробок, всього за кілька секунд за один клік миші [6].

Висновки. Штучний інтелект є фактором революційних змін у металургійній промисловості, який дозволяє забезпечувати підвищення продуктивності та якості металопродукції, енергоефективності та сталого розвитку, водночас трансформуючи робочу силу і процеси прийняття рішень у галузі. Основними джерелами застосування штучного інтелекту в металургійній галузі є: прогнозоване обслуговування; оптимізація металургійного процесу; контроль якості металопродукції та виявлення дефектів та браку; управління ланцюгом поставок сировини та металопродукції; енергоефективність; планування виробничого процесу та управління персоналом; розробка нових видів металопродукції; покращення безпеки праці, аналіз ринку та стратегії ціноутворення та інші.

ЛІТЕРАТУРА

1. Штучний інтелект у металургії: революція у виробництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stali.kiev.ua/shtuchnyy-intelekt-u-metalurhii-revoliutsiia-u-vyrobnytstvi/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

2. Як штучний інтелект застосовують у металургії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/opinion/yak-shtuchnij-intelekt-zastosovujut-u-metalurgii/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

3. Чжан К. Роль штучного інтелекту у трансформації клієнтського досвіду та оптимізації ланцюгів постачання для глобального бізнесу / К. Чжан // Innovation and Sustainability. – 2024. – №3. – С. 45–52.

4. 10 ways AI is being used in the Steel Industry [2025] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://digitaldefynd.com/IQ/ai-in-the-steel-industry/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

5. Штучний інтелект у виробництві: переваги та приклади застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://wezom.com.ua/ua/blog/shtuchniy-intelekt-u-virobnitstvi-perevagi-ta-prikladi-zastosuvannya (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

6. The Influence of AI in Metallurgy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mheavytechnology.com/solutions/ai-in-the-metals-industry/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

7. Harmony in Metallurgy: Embracing AI for a Smarter Future [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.linkedin.com/pulse/harmony-metallurgy-embracing-ai-smarter-future-sewela-lauren-sakuneka-yphlf (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

8. Moulded by Machines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mheavytechnology.com/solutions/ai-in-the-metals-industry/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

9. Metinvest Digital впроваджує штучний інтелект у металургійне виробництво [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://galera.news/metinvest-digital-vprovadzhuie-shtuchnyy-intelekt-u-metalurhiyne-vyrobnytstvo-11337/ (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

10. Попов О.І. Упровадження штучного інтелекту для прогнозування властивостей металевих матеріалів /О.І. Попов // Компьютерно-інтегровані технології:освіта, наука, виробництво. – 2024. – №56. С. 244–253. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-31

УДК 338.1:631.173+338.4

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ МАШИНОБУДУВАННЯ У АГРОПРОДОВОЛЬЧИЙ СЕКТОР УКРАЇНИ

Носова Н.І.
ДУ «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАН України»

Важливе місце у агропродовольчому секторі України займає сільськогосподарське машинобудування, яке зазнало трансформації внаслідок впливу технологічного прогресу, воєнних дій та кліматичних змін. Забезпечення сучасною сільгосптехнікою дозволяє агровиробникам зменшити витрати на обробіток ґрунту, вирощування рослин та збір врожаю.

Ефективний розвиток сільського господарства стає неможливим без використання сучасних технологій та відповідного технічного оснащення аграріїв новітньою сільгосптехнікою, що сприятиме отриманню високих врожаїв.

Україна має високі можливості для розвитку сільськогосподарського машинобудування, у деяких містах збереглися базові виробництва. Але подальший розвиток певною мірою стримує війна. Тому сільгоспвиробники змушені купувати техніку закордонних виробників, частіше за все вживану, оскільки фінансові можливості обмежують придбання нової. Вітчизняні виробники сільськогосподарської техніки, навіть за складних умов воєнного часу виробляють необхідну техніку, але темпи її виробництва з початком війни суттєво скоротилися (табл. 1), а деякі виробники були змушені диверсифікувати свої виробництва або зовсім закрили підприємства.

У першому повоєнному 2022 році суттєво скоротилося виробництво збиральної техніки – на 75 % та навісної техніки – на 57 % відносно попереднього року. Лише виробництво іригаційної техніки зберегло темпи свого виробництва, збільшивши його на 2 % [2, с. 96].

Таблиця 1

Динаміка виробництва сільськогосподарської техніки в Україні у 2017–2022 рр., млн. дол. на рік

Назва	2017	2018		2019		2020		2021		2022	
		млн. дол.	приріст, %	млн. дол.	приріст, %	млн. дол.	приріст, %	млн. дол.	приріст, %	млн. дол.	приріст, %
Іригаційна техніка	13,06	16,84	29	14,08	-16	11,19	-21	20,57	84	21,03	2
Елеваторне обладнання	30,01	28,23	-6	29,49	4	23,85	-19	24,67	3	23,27	-6
Навісна техніка	247,42	230,60	-7	136,70	-41	35,82	-74	61,75	72	26,64	-57
Збиральна техніка	56,22	47,54	-15	29,18	-39	13,63	-53	11,75	-14	2,95	-75
Трактори	68,16	52,61	-23	30,65	-42	43,53	42	38,30	-12	32,23	-16
Всього	414,85	375,82	-9	240,10	-36	128,03	-47	157,03	23	106,13	-32

Джерело: Складено автором за даними [1].

Кількість діючих машинобудівних підприємств України представлено на рис. 1.

Провідними виробниками сільгосптехніки в Україні є: АТ «Ельворті», Компанія ВК «Технополь», Львівагромашпроект, Львівсільмаш, Бердянські жниварки,

Уманьферммаш, Промислова група «Корсунь», ПрАТ «Богуславська сільгосптехніка», Дубовицький завод сільгосптехніки, Хорольський механічний завод та ін. [4].

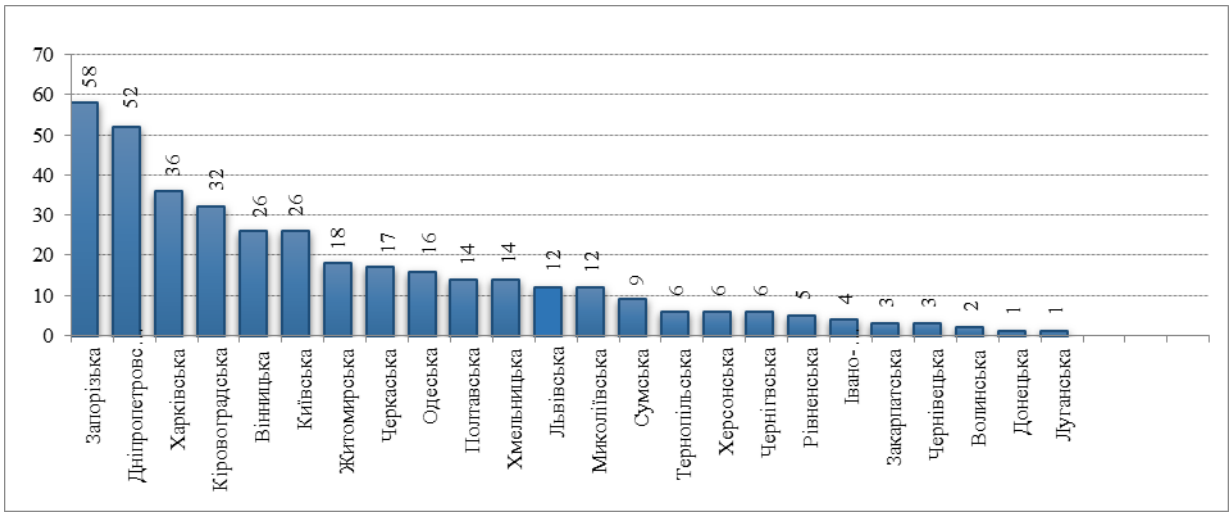


Рис. 1. Кількість діючих машинобудівних підприємств України у 2022 р., од.
Джерело: Складено автором за даними [3].

Останнім часом у сільському господарстві все більшого розповсюдження та впровадження отримали цифрові технології. Сучасні сільгосптехніка стає все більше автоматизованою та «розумною». Ринок сільгосптехніки продовжує активно розвиватися, пропонуючи нові рішення для фермерів. Впровадження Інтернету речей (IoT) у сільське господарство дозволяє створювати інтелектуальні ферми, де всі процеси взаємопов'язані та автоматизовані. Трактори та комбайни з GPS-навігацією дозволяють здійснювати точне землеробство, що мінімізує втрати ресурсів і підвищує врожайність. Дрони та супутникові системи використовуються для моніторингу стану посівів, визначення потреб у добривах та зрошені, а також для виявлення хвороб рослин [5].

Використання сучасних технологій дозволяє збільшувати врожайність та якість сільськогосподарських культур, а такі методи, як селекція, гібридизація рослин, генна інженерія сприяють створенню найбільш продуктивних видів агрокультур. З кожним роком на поля виїжджають більш високотехнологічні агрегати, обладнані GPS-навігацією і системою телематики [6]. Одним з пріоритетних напрямів використання сучасних технологій є геоінформаційні технології (GIS-технології) для відстеження стану ґрунтів, водойм, відходів, регулювання вегетації рослин, їх зрошення тощо [7].

Поєднання сучасної сільськогосподарської техніки з технологіями точного землеробства розширює можливості, дозволяючи оптимізувати використання ресурсів, підвищити врожайність та мінімізувати шкоду довкіллю [8]. Точне землеробство формується на засадах цифрових технологій, важливим елементом яких є Big Data. Необхідність у цьому виникає внаслідок того, що сьогодні у сільському господарстві використовуються значні обсяги інформації, які необхідно систематизувати та використовувати для прогнозування результатів роботи шляхом обробки даних.

Якщо йдеться про рослинництво, то тут відбувається накопичення інформації стосовно стану ґрунтів, метеорологічних умов, стану посіві а їх зволоженості й обробки від шкідників, контролю за внесенням добрив тощо. Такий підхід має забезпечення зменшення використання матеріально-технічних ресурсів та значної економії коштів.

Якщо йдеться про тваринництво, то використання цифровий технологій у цьому секторі орієнтоване на контроль за годівлею тварин та дистанційне керування подачею кормів, регулювання умов утримання тварин та ін., що являє собою комплекс робіт та керування ними з метою забезпечення ефективної та екологічно безпечної діяльності сектору.

Всі ці цифрові рішення та контроль за їх виконанням мають запроваджуватись з допомогою використання сучасної сільськогосподарської техніки та обладнання.

Поява безпілотних літальних апаратів, оснащених різноманітними датчиками, які здійснюють дистанційне зондування й збір інформації, та поява Інтернет-речей призвели до переходу сільського господарства у фазу цифровізації, яка набуває усе більшого розповсюдження. Однак впровадження цих процесів відбувається повільно внаслідок значної вартості та обслуговування безпілотників та відсутності стандартизації накопиченої інформації, а подекуди й відсутності Інтернет-зв'язку у віддалених регіонах та безпеки даних. У багатьох випадках обладнання може бути складним у експлуатації, що потребує наявності відповідних знань.

Висновки. Результати дослідження свідчать, що для ефективного розвитку сільського господарства України і збереження його експортного потенціалу необхідно забезпечити агровиробників сучасною сільгосптехнікою й активно використовувати сучасні технологічні рішення. В сучасних умовах агровиробники змушені купувати вживану техніку, яка частіше за все є зношеною та технологічно застарілою, що негативно впливає на результати роботи. А збільшення імпорту сільгосптехніки робить вітчизняний сектор сільськогосподарського машинобудування імпортозалежним. Тому у повоєнний час необхідна державна підтримка сектору для його технологічного оновлення. Також необхідно проводити навчання обслуговуючого персоналу роботі на новій техніці.

Перспективи впровадження прогресивної техніки та технологій машинобудування у системі ринкового відтворювального циклу забезпечує можливість відстежувати у реальному часі надходження сільгосппродукції до торгових мереж і її реалізацію, що створює сприятливі умови для усунення логістичних розривів у ланках товароруху агропродукції, що є важливою складовою забезпечення продовольчої безпеки країни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов О. Аналіз ринку сільськогосподарської техніки в умовах повномасштабної війни, 2023. 48 с. URL: https://investincherkasyregion.gov.ua/sites/default/files/analysis_of_the_agricultural_technique_market_in_wartime_conditions.pdf
2. Носова Н.І. Вплив стратегічного менеджменту та логістичного підходу на ринок сільськогосподарського машинобудування в Україні у воєнний час. Сучасна парадигма економічної безпеки: інноваційні механізми імплементації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. / заг. ред.: О.М. Левченко, Ю.А. Бондар, І.В. Щоголєва. (30 січня 2025). Кропивницький: РВВ ЦДУ ім. В. Вінниченка, 2025. Ч. 2. С. 95-97. URL: https://www.cusu. edu.ua/images/conferences/2025/2.pdf
3. Navrotskyi Y., Petrov V. Production as a link in the market of agricultural machinery for crop farming in Ukraine. Економіка АПК Т. 30., № 5, 2023. С. 19-32. https://doi.org/10.32317/2221-1055.202305019 URL: https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-30-5-2023
4. Сільгосптехніка Made in Ukraine URL: https://traktorist.ua/articles/silgosptehnika-made-in- ukraine- narodzheni-v-nezalezhniy-ukrayini
5. Сучасна сільськогосподарська техніка: інновації, ефективність та перспективи. 29.06.2024. URL: https://www.agronom.info/suchasna-silskogospodarska-tekhnika-innovaciyi-efektivnist-ta-perspektivi
6. Носова Н.І. Впровадження цифрових технологій у агропродовольчий сектор як складова забезпечення продовольчої безпеки України. Моделювання соціально-економічного розвитку в системі забезпечення продовольчої безпеки: матеріали ІІ всеукр. наук.-практ. конф. (8-9 травня 2024). Миколаїв: МНАУ. 2024. С. 146-148. URL: https://www.mnau.edu.ua/files/nauk_prof_konf/ zbirnyk-tez-09-05-24.pdf
7. ГІС технології в сільському господарстві URL: https://eos.com/uk/blog/suchasni-tekhnolohii-v-silskomu-hospodarstvi/

8. Сільськогосподарська техніка у точному землеробстві. 31.07.2024. URL: https://eos.com/uk/blog/silskohospodarska-tekhnika/

УДК 531.3+519.6+621.8

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ТРЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РЕЛЕЯ

Радяк І.В., Бакай Б.Я.
Національний лісотехнічний університет України

Для забезпечення оптимального переміщення лісоматеріалів, а також для гарантування безпеки та ефективності роботи, критично важливим є виконання детального динамічного аналізу механізмів трелювання [1]. У рамках цього аналізу, конструктивні елементи технологічного устаткування (рис. 1), зокрема стріла маніпулятора, на якій встановлена гідравлічна лебідка, розглядаються як динамічні системи, що піддаються впливу різноманітних навантажень [2]. У цьому контексті методика Релея виступає як потужний інструмент, що дозволяє отримувати надійні оцінки власних частот, критичних навантажень та загальної динамічної поведінки системи [3, 4].

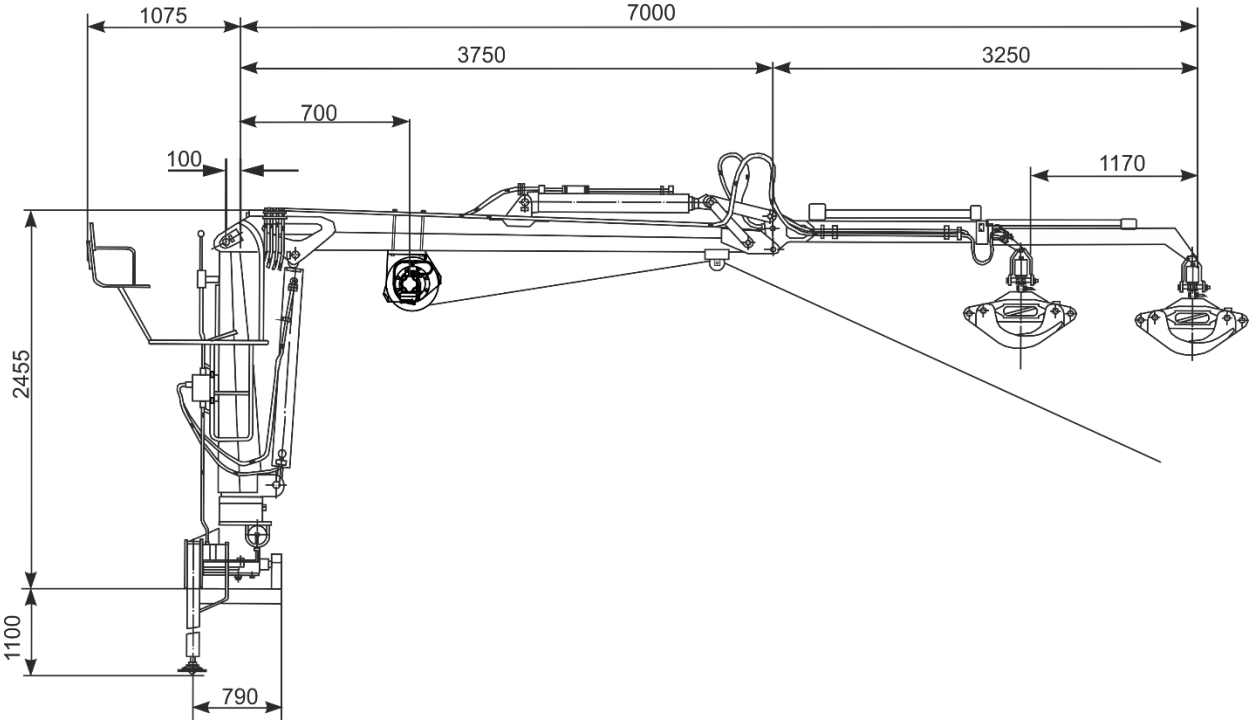


Рисунок 1 – Технологічне устаткування для трелювання лісоматеріалів на базі стрілового маніпулятора

Відомо, що принцип Релея (Rayleigh Quotient Method) базується на енергетичному підході, згідно з яким максимальна потенційна енергія деформації системи прирівнюється до її максимальної кінетичної енергії [4, 5]. Внаслідок цього прирівнювання виводиться вираз для квадрата частоти коливань системи, що являє собою верхню межу для фундаментальної (основної) частоти коливань. Для застосування цього методу необхідно попередньо прийняти так звану кінематично допустиму функцію переміщення, яка

повинна задовольняти граничні умови системи. Відносно прості, але диференційовані функції, які відповідають цим граничним умовам, дозволяють отримати досить близькі апроксимації до істинної фундаментальної частоти.

У контексті аналізу стріли маніпулятора, яка є центральним елементом механізму трелювання, ця методика дозволяє досліджувати задачі стійкості пружних стрижнів. Таким чином, можна оцінити критичні навантаження, що спричиняють втрату стійкості, такі як осьове вигинання та бічно-крутильне вигинання. Ці явища є особливо актуальними, оскільки під час переміщення лісоматеріалів стріла піддається дії складних комбінацій осьових сил, згинальних моментів, поперечних сил та крутних моментів, які можуть діяти одночасно. Розширення теорії технічних систем дозволяє застосовувати метод Релея для стрижнів довільних форм поперечного перерізу, включаючи як тонкі у вигляді оболонок (тонкостінні) та більш масивні/щільні (компактні) геометричні перерізи. Це має суттєве значення для аналізу сучасних, часто оптимізованих за вагою та міцністю, конструкцій стріл маніпуляторів завантажених додатковим технологічним устаткованням.

Для балки точні власні функції й власні частоти відомі

$$\psi_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right), \quad n = 1, 2, \ldots \quad \text{і} \quad \omega_n = n^2\pi^2\sqrt{\frac{EI}{\bar{m}\,L^4}} \tag{1}$$

Це служить еталоном для перевірки й оцінки точності апроксимаційних функцій, зокрема для $n = 1$. Поперечні коливання w описуються функцією та мають гармонічний характер

$$w(x,t) = A\psi(x)\sin(\omega t) \tag{2}$$

де A – амплітуда; ω – циклічна частота коливань; $\psi(x)$ – обрана безрозмірна функція коливань, яка задовольняє умови $\psi(0) = \psi(L) = 0$ та $\psi''(0) = \psi''(L) = 0$.

Традиційні методи вибору коефіцієнтів демпфування, засновані на власних частотах, можуть бути ненадійними для складних структур, де багато мод значно впливають на динамічний відгук. Неправильний вибір коефіцієнтів може призвести до значного спотворення результатів динамічної реакції. Тому для вирішення цієї проблеми було запропоновано підхід, який вибирає моди, що найбільше впливають на динамічні відгуки, на основі частки модальної участі. Це дозволяє уникнути спотворення результату, яке виникає через неналежний вибір мод, особливо у складних інженерних структурах, де низькопорядкові моди не є домінуючими.

На основі проведеного порівняння енергії деформації згину балки $V_{\max}$ та кінетичної енергії коливань $T_{\max}$ отримано класичний вираз Релея

$$\omega^2 = \frac{\int_0^L EI\left[\psi''(x)\right]^2 dx}{\int_0^L \bar{m}\left[\psi(x)\right]^2 dx}. \tag{3}$$

Ця оцінка є справедливою для будь-якої підібраної функції $\psi(x)$, що задовольняє граничним умовам. Запропонований підхід може бути застосованим для наближених розрахунків власних частот складних систем, використовуючи відповідно підібрані функції $\psi(x)$.

Метод Релея є ефективним інструментом для постановки та наближеного розв'язання задач стійкості прямих пружних балок і стрижнів. Він дозволяє оцінювати значення критичних навантажень, таких як осьові сили, згинальні моменти, поперечні сили та крутні моменти, які можуть діяти одночасно. Критичне значення множника навантаження (λ_{cryt}) виражається за допомогою коефіцієнта Релея, де чисельник включає роботу початкових напружень (w_0), а знаменник представляє пружну енергію, накопичену

в тілі (w). Ця формула є зручною для використання в інженерній практиці, оскільки кінематичні граничні умови не залежать від невідомого множника.

Деформація завантаженої стріли маніпулятора описується за допомогою переміщень $w(x)$ та кута кручення $\theta(x)$. Операція максимізації відповідного коефіцієнта Релея може бути виконана аналітично або чисельно. Якщо поперечні або бічні навантаження зміщені від осі центрів зсуву, потенціал роботи початкових напружень (w_0) доповнюється додатковими складовими. Метод Релея також може бути поширений на випадки, коли кінці стрижня посилені пружними елементами, що обмежують деформації викривлення.

Висновки. З'ясовано, що на практиці для чисельного розв'язання задач операція максимізації відповідного коефіцієнта Релея може бути виконана аналітично або чисельно, що забезпечує високу точність отриманих результатів. Порівняння результатів, отриманих за допомогою цього методу, демонструє високу узгодженість, з розбіжностями менше ніж 1%. Отримані у результаті динамічного аналізу значення критичних навантажень та власних частот є фундаментальними для досягнення оптимального переміщення лісоматеріалів складними трелювальними системами, оскільки вони дозволяють встановлювати безпечні експлуатаційні межі, запобігати резонансним явищам та забезпечувати загальну стійкість і надійність механізму трелювання в умовах динамічного навантаження. Таким чином, використання методу Релея для визначення верхньої межі частот коливань розширює можливості дослідників для комплексного аналізу складних режимів коливань у системі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bakay B. Ya. Preliminary representation of the equation of dynamics of the manipulator by method Euler-Lagrange, Scientific bulletin of UNFU. – 2011. – Vol. 21, – №18, – Pp. 322-327. Available: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_18/322_Bak.pdf.

2. Loveikin V., Romasevych Y., Loveikin Y., Krushelnytskyi V., Kadykalo I., Optimization of the joint startup of the boom and load hoisting mechanisms of a jib crane, Machinery & Energetics. – 2024. – Vol. 15. – №4. – Pp. 9-21, doi: 10.31548/machinery/4.2024.09.

3. Temple, G. The Theory of Rayleigh's Principle as applied to Continuous Systems / G. Temple // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. – 1928. – Том 121. – № 787. – С. 277–293.

4. Song Z., Su C. Computation of Rayleigh Damping Coefficients for the Seismic Analysis of a Hydro-Powerhouse / Z. Song, C. Su // Shock and Vibration. – 2017. – Vol. 2. – Art. ID 2046345. – Pp. 1-11.

5. Czubacki R., Lewiński T. Application of the Rayleigh quotient method in the analysis of stability of straight elastic bars / R. Czubacki, T. Lewiński // Archives of Civil Engineering. – 2024. – Vol. LXX. – № 4. – Pp. 85-98.

СЕКЦІЯ 3
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТОВАРІВ ЛЕГКОЇ І ТЕКСТИЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»

УДК 685.34.073.33

АНТИМІКРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВЗУТТЄВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ: ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Варданян А.О.[1], Шокот Т.С.[1], Гараніна О.О.[1], Редько Я.В.[1], Абраменко М.М.[2]
[1]Київський національний університет технологій та дизайну
[2]Товариство з обмеженою відповідальністю «Орган сертифікації персоналу Української асоціації якості»

Антимікробна обробка є однією з ключових технологічних операцій у виробництві продукції легкої та взуттєвої промисловості. Вона спрямована на підвищення гігієнічних властивостей матеріалів та готових виробів, зокрема устілок, внутрішніх деталей взуття, панчішно-шкарпеткових виробів та іншого текстильного асортименту, який має тривалий контакт зі шкірою людини.

З огляду на фізіологічні особливості стопи людини, взуття під час експлуатації створює вологе та тепле мікросередовище, що сприяє росту та розмноженню патогенної мікрофлори. Найчастіше, у даних умовах розвиваються дерматофіти (грибки шкіри та підошви), а також бактерії роду Staphylococcus, які можуть спричиняють шкірні захворювання та викликають мікробіологічний розклад поту. Саме цей процес є основною причиною появи неприємного запаху, що знижує експлуатаційні та гігієнічні характеристики взуття. Антимікробна обробка взуттєвих матеріалів забезпечує захист від розвитку патогенної мікрофлори, запобігає грибковим ураженням стопи та знижує інтенсивність появи неприємного запаху. Крім того, вона сприяє збереженню гігієнічності та подовженню терміну експлуатації взуття завдяки уповільненню біологічного руйнування його внутрішніх елементів.

У сучасній взуттєвій промисловості антимікробна обробка здійснюється різними технологічними методами, серед яких використання просочувальних розчинів та апретів з біоцидними добавками, впровадження наноматеріалів та іонів срібла для тривалої антимікробної дії, а також нанесення полімерних покриттів із антимікробними агентами, що утворюють захисний шар на устілках і внутрішніх деталях взуття. Ці підходи забезпечують стабільний гігієнічний ефект навіть під час інтенсивного використання виробів. Таким чином, антимікробна обробка виступає не лише допоміжним етапом виробництва, а й невід'ємним фактором забезпечення комфорту, гігієнічності та безпеки взуттєвих виробів. Її впровадження відповідає сучасним вимогам до якості та конкурентоспроможності продукції легкої промисловості, оскільки споживач очікує від взуття не тільки зручності та міцності, але й захисту від негативного впливу мікрофлори [1-2].

Процес антимікробної обробки можливо реалізувати за різними технологіями, а саме: зануренням у розчин, просочуванням або розпиленням, що безпосередньо залежить від виду матеріалу, антибактеріального агенту та подальшої сфери його призначення [3].

В сфері забезпечення антибактеріальної активності серед відомих сполук за механізмом дії найкраще зарекомендували себе антибактеріальні агенти, які діють шляхом руйнування клітинної мембрани мікроорганізмів.

Триклозан – це галогенований фенол, який широко використовується у споживчих продуктах, таких як зубна паста та мило для рук, а також входить до складу предметів домашнього вжитку, таких як обробні дошки та шторки для душу. Це антибактеріальний агент широкого спектру дії, що безпосередньо порушує клітинну мембрану, мігруючи з предмета або продукту, проникаючи всередину, інгібує синтез жирних кислот II типу (FAS-II) патогенної мікрофлори, що призводить до її загибелі [4].

Постає актуальне питання щодо одержання текстильних матеріалів з антимікробними властивостями із використанням продуктів феніл-фенольного ряду. На рисунку 1 наведено потенційні області застосування виробів, які мають пряму необхідність у наданні антимікробного захисту.

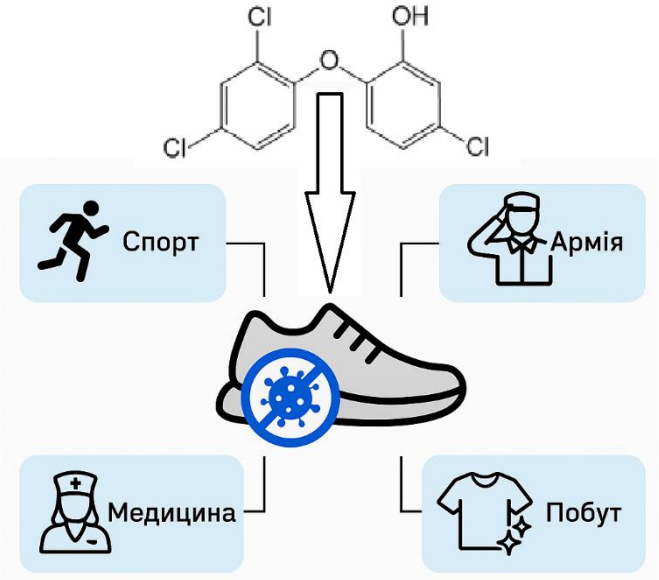


Рисунок – 1 Потенційні області застосування виробів легкої промисловості з необхідністю антимікробного захисту

Під час вирішення даної проблеми розроблено текстильний матеріал для подальшого використання в якості підкладкового матеріалу із антимікробними властивостями. Встановлено високу ефективність антимікробної обробки текстильного матеріалу, а саме саржі F-240 поліефірно-бавовняного складу із застосуванням спиртового розчину феніл-фенольного ряду у концентраціях 2-4 г/л. Запропонована технологія надала текстильному матеріалу задовільні бактерицидні та фунгіцидні властивості не погіршуючи його експлуатаційних характеристик.

Мікробіологічні дослідження, що підтверджують ефективність антимікробної обробки проводили в Інституті громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМНУ відповідно до діючих стандартів (протоколи мікробіологічних досліджень). Технологія опорядження текстильних матеріалів з отриманням антибактеріальних властивостей пройшла апробацію у виробничих умовах підприємств ТОВ "ФН "БАРВА" та ТОВ "ТК ДТ-ЧЕРНІГІВ" у 2024 р.

Гігієнічна оцінка оброблених зразків засвідчила суттєве покращення таких показників, як паро та повітропроникність, гігроскопічність. Найбільш оптимальні результати дослідження показника повітропроникності становлять 63,2 дм³/м²·с, гігроскопічності 8,92 % та паропроності 14,9 мг/см²·год. Це свідчить про високу здатність матеріалу забезпечувати комфорт при експлуатації взуття та підтверджує доцільність його використання у виробництві взуттєвих виробів із підвищеними вимогами до комфорту.

Мікробіологічні дослідження підтвердили, що оброблені зразки демонструють виражену антимікробну активність проти широкого спектру патогенних мікроорганізмів, зокрема Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Candida albicans та Aspergillus brasiliensis. Виявлені зони затримки росту перевищували 4 мм, що відповідає вимогам міжнародних стандартів щодо визначення антимікробної активності. При цьому найвищу

бактерицидну активність виявлено щодо Staphylococcus aureus (20,25 мм), а найбільш виражену фунгіцидну дію — проти Candida albicans (10,25 мм).

Отримані результати свідчать про високу ефективність антимікробної обробки поліефірно-бавовняних матеріалів із застосуванням феніл-фенольних агентів, що забезпечує бактерицидну та фунгіцидну дію проти широкого спектру патогенних мікроорганізмів. Це відкриває значні перспективи для подальшого впровадження даної технології у взуттєву галузь, особливо для виробів із підвищеними вимогами до гігієнічності та комфорту.

Використання оброблених матеріалів є актуальним для:

- ✓ спеціального спортивного взуття, яке експлуатується в умовах інтенсивного фізичного навантаження. При підвищеному потовиділенні створюється сприятливе середовище для розвитку мікрофлори, що може призвести до грибкових уражень стопи, подразнень та появи неприємного запаху. Використання антимікробних підкладкових матеріалів і устілок дозволить суттєво підвищити комфорт та гігієнічність спортивного взуття, а також зменшити ризик мікозів у спортсменів.
- ✓ військового та спеціального взуття, яке носиться тривалий час у складних кліматичних і експлуатаційних умовах (підвищена вологість, обмежена вентиляція, тривале перебування у взутті без його зняття). Антимікробна обробка у цьому випадку виконує не лише гігієнічну, а й профілактично-захисну функцію, знижуючи ймовірність виникнення шкірних інфекцій, грибкових захворювань та запалення шкіри, що виникає через вологу, тертя або подразники, що особливо важливо для підтримання боєздатності та здоров'я військовослужбовців.
- ✓ засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), включно з взуттям для медичних працівників, рятувальників, працівників харчової промисловості. У цих сферах дотримання гігієнічних норм є критичним, а антимікробні матеріали дозволяють зменшити ризик перехресного зараження та забезпечують безпеку користувача.

Подальші дослідження у сфері антимікробної обробки взуттєвих матеріалів мають бути зосереджені на вдосконаленні методів закріплення антимікробних агентів, розробці безпечних нанокомпозицій та оптимізації технологій, що зберігають гігієнічні властивості матеріалів. Особлива увага приділяється створенню універсальних устілок і підкладкових пакетів для спортивного, військового, медичного та дитячого взуття з урахуванням умов їх експлуатації.

Висновки. Розглянуто проблему забезпечення гігієнічних властивостей виробів легкої промисловості, а саме застосування антибактеріальних текстильних матеріалів як підкладкових тканин та деталей взуття. Досліджено гігієнічні показники (гігроскопічність, паро- та повітропроникність, стійкість до дії бактерій та грибків), що визначають рівень комфорту під час експлуатації взуття та сприяють профілактиці дерматологічних захворювань. Встановлено, що антибактеріальна обробка текстильних матеріалів забезпечує покращення показників паро- та повітропроникності, а також формує виражену антибактеріальну та фунгіцидну активність. Отримані результати мають вагоме практичне значення для впровадження та вдосконалення технологій виробництва взуття з підвищеним рівнем гігієнічності та комфорту, зокрема у виготовленні спеціалізованих виробів, що потребують пролонгованого антибактеріального захисту.

ЛІТЕРАТУРА

7. Вплив антимікробної обробки на гігієнічні та експлуатаційні властивості текстильних матеріалів для взуттєвої промисловості [Електронний ресурс] // Herald of Khmelnytskyi national university. – 2025. – Т. 353, № 3.2. – С. 91–97. – Режим доступу: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-10.

8. Investigation of dyeing, antibacterial and antifungal properties of blended fabrics treated with plant-based dyestuffs and mordants as shoe materials [Electronic resource] /

Saltanat Sabyrkhanova [et al.] // Coloration technology. – 2023. – P. 598–611. – Mode of access: https://doi.org/10.1111/cote.12730.

9. Варданян А. Антибактеріальні агенти для створення текстильних матеріалів – сучасний стан та тенденції розвитку [Електронний ресурс] / Анна Варданян, Яна Редько // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2024. – Т. 333, № 2. – С. 112–119. – Режим доступу: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-17.

10. Evaluation of antimicrobial-treated fabric properties [Electronic resource] / Nina M. Lamba [et al.] // AATCC journal of research. – 2017. – Vol. 4, no. 1. – P. 14–21. – Mode of access: https://doi.org/10.14504/ajr.4.1.2.

УДК: 685.31:83

ЕПІДЕМІОЛОГІЯ ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ У ВАГІТНИХ В УКРАЇНІ: ВПЛИВ НА СТОПИ

Кузіна Н.В[1]., Лапчак С.М.[2], Мокра К.В.[3]
[1]Київський національний університет технологій та дизайну,
[2]ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ»,
[3]ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ»

Анотація. У статті представлено аналіз поширеності гестаційного та передвагітністного цукрового діабету серед вагітних в Україні. Встаноавлено, що частота ГЦД сягає 1–14 % залежно від регіону та факторів ризику. Виявлено, що поєднання фізіологічних змін вагітності із судинними та нейропатичними порушеннями при діабеті призводить до деформацій стопи, зниження чутливості та підвищення ризику ускладнень.

Мета. Дослідити рівень поширеності цукрового діабету серед вагітних в Україні та оцінити його вплив на функціональний стан стоп. Додатковою метою є розробка рекомендацій щодо профілактики ускладнень (деформацій, виразок) шляхом підбору правильного ортопедичного взуття та своєчасної корекції виявлених змін.

Ключові слова: *гестаційний діабет, передвагітнісний діабет, поширеність, деформації стопи, ортопедичне взуття.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. Останнім часом гестаційний діабет ускладнює до 14 % вагітностей у світі, тоді як в Україні його поширеність коливається в межах 2–7 %. Поєднання змін, характерних для вагітності — (зростання маси тіла, дія гормону релаксину, сплощення склепіння стопи) — з діабетичними ураженнями судин і нервової системи сприяє швидшому розвитку деформацій та підвищує ризик синдрому діабетичної стопи. Загалом в Україні спостерігається стійке зростання захворюваності на цукровий діабет: за останні двадцять років кількість зареєстрованих хворих майже подвоїлася. Станом на грудень 2023 року в електронній системі охорони здоров'я зареєстровано понад 1,028 млн пацієнтів з діабетом усіх вікових груп. Поширеність діабету серед дорослого населення становить близько 5–7 %, що відповідає приблизно 2,3 млн осіб. Водночас частота діагностування саме гестаційного діабету залишається недостатньо дослідженою: у різних регіонах України цей показник коливається від 1 до 14%, у середньому становлячи близько 7 %. Для порівняння, у світі гіперглікемія під час вагітності виявляється приблизно у 16,7 % випадків, причому близько 80 % з них припадає на ГЦД. Орієнтовно в Україні цукровий діабет, включно з гестаційним та передвагітнісним, діагностують у 2–3 % вагітних. Складність ситуації полягає у відсутності єдиного національного реєстру випадків ГЦД та в недостатній увазі до його впливу не лише на перебіг вагітності й здоров'я матері, а й на стан опорно-рухового апарату, зокрема стопи, де поєднання гестаційних і діабетичних змін може призводити до швидшого розвитку патологій [1].

ОСТАННІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПУБЛІКАЦІЇ. Світові дослідження свідчать про зростання поширеності ГЦД паралельно зі збільшенням частоти ожиріння та діабету 2 типу. Міжнародна діабетична федерація (IDF) у своєму атласі 2021 року оцінила, що кожна шоста вагітність у світі ускладнена гіперглікемією, причому більшість цих випадків – гестаційний діабет. В Європі частота ГЦД коливається від 1% до 14% залежно від країни та критеріїв діагностики. Останні керівництва (ВОЗ, IADPSG) акцентують на необхідності одномоментного тесту толерантності до глюкози у 24–28 тижнів для своєчасного виявлення ГЦД. У наукових публікаціях наголошується, що в жінок із ГЦД значно вищий ризик розвитку діабету 2 типу протягом 10–15 років після пологів (до 50% випадків). Водночас, у відкритій літературі майже відсутні дослідження, присвячені впливу діабету у вагітних на біомеханічний стан стоп. Відомо, що при довготривалому діабеті часто розвивається синдром діабетичної стопи – поєднання нейропатії, ангіопатії та остеоартропатії, що призводить до деформацій та виразок. Проте залишається актуальним питання, чи вагітність із діабетом прискорює ці зміни. Таким чином, наше дослідження заповнює нішу, аналізуючи згадані аспекти в українських умовах сьогодення [1-2].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ. В Україні захворюваність на цукровий діабет невпинно зростає: за останні два десятиліття поширеність серед населення подвоїлася. Частка випадків діабету під час вагітності залишається неточно визначеною через обмеженість статистики. За оцінками фахівців, гестаційний цукровий діабет (ГЦД) трапляється приблизно у 7 % вагітностей, хоча в окремих популяціях цей показник сягає 1 %, а в групах високого ризику — 10–14 %. Варіації зумовлені відмінностями скринінгу та наявністю факторів ризику, таких як вік, ожиріння, спадковість. Для порівняння, у світі поширеність ГЦД становить близько 14 %, а загальна гіперглікемія під час вагітності сягає 16–17 % (рис. 1).

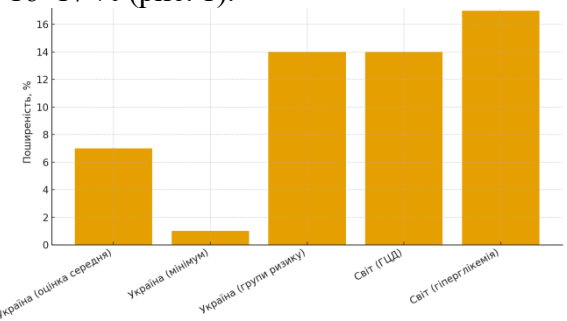


Рисунок 1. Поширеність гестаційного цукрового діабету серед вагітних: порівняння українських та світових показників

- В Україні: 1–14 % залежно від групи ризику, середнє значення ~7 %.
- У світі: ~14 % випадків, загальна гіперглікемія – до 17 %.

В Україні очікуваний рівень може бути вищим за офіційно зареєстрований через недостатнє охоплення скринінговими програмами й несистемне ведення реєстрів. Хронічна гіперглікемія спричиняє діабетичну нейропатію та ангіопатію, що поступово змінюють анатомію й біомеханіку стопи. У вагітних ці процеси посилюються через гормональні та вагові зміни, які підвищують навантаження на зв'язковий апарат і сприяють розвитку патологій. Зниження чутливості, характерне для нейропатії, ускладнює своєчасне виявлення мікротравм чи натирань. У поєднанні з набряками та слабкістю зв'язок це пришвидшує формування деформацій, що проявляються порушенням балансу, зміною ходи, болем та високим ризиком трофічних виразок. Такі ускладнення становлять небезпеку інфекцій, гнійно-некротичних процесів і навіть ампутацій. Основні деформації стопи, які виникають при діабеті наведені в таблиці 1[1-3].

Таблиця 1. Деформації стопи, які виникають при діабеті

Деформація	Характеристика	Можливі наслідки
Кігтеподібні пальці	Ослаблення дрібних м'язів стопи та	Дискомфорт при ходьбі,

	порушення нервової регуляції спричиняють згинання пальців вниз у суглобах, пальці набувають форми «кігтя».	утворення мозолів на пальцях.
Молоткоподібні пальці	Палець постійно зігнутий у середньому суглобі та не розгинається повністю, створюючи тиск на фаланги.	Біль, натирання, поява виразок на верхній частині пальця або сліді стопи.
Метатарзалгія (випинання головок плеснових кісток)	Через перерозподіл навантаження головки плеснових кісток опускаються та виступають вниз.	Формування болючих мозолів, ризик виразок на сліді стопи.
Hallux valgus (вальгусна деформація першого пальця)	Великий палець відхиляється назовні, утворюючи «кісточку» на суглобі; часто прогресує при плоскостопості чи носінні тісного взуття.	Запалення, біль, зміни ходи, труднощі у виборі взуття.
Опущення склепіння стопи (плоскостопість)	Послаблення зв'язок і м'язів, збільшення маси тіла призводять до сплющення поздовжнього і поперечного склепінь стопи.	Зміна біомеханіки ходи, швидка втомлюваність, біль у ногах і спині.
Остеоартропатія Шарко	Руйнування дрібних суглобів і кісток стопи на тлі втрати чутливості та трофічних порушень. Стопа стає набряклою, червоною, з часом деформується у «стопу-качалку».	Високий ризик виразок, інфекцій, інвалідизації; потребує спеціалізованого лікування.

Для профілактики важливо впроваджувати ранній скринінг стану стоп вагітних з діабетом, забезпечувати можливість застосування спеціалізованого ортопедичного взуття та індивідуальних устілок. Не менш важливо розробити національні клінічні рекомендації для акушерів-гінекологів і ортопедів. Взуття для вагітних з діабетом має бути на 1–2 см довшим за стопу, достатньо широким і глибоким, мати жорстку закриту п'яткову частину та регульовані застібки, що дозволяють враховувати (зміни об'ємів при) набряках. Внутрішня поверхня взуття повинна бути гладкою, без швів чи виступів; підошва — амортизуючою (EVA або PU). Конструкція повинна забезпечувати використання індивідуальних устілок. У випадках високого ризику доцільне застосування моделей з Rocker sole підошвою, яка розвантажує передній відділ стопи. Клінічні дослідження доводять, що спеціалізоване взуття та ортопедичні устілки знижують ризик рецидивів виразок на 20–50 %. Приклади ефективних рішень пропонують компанії Diawin (лінійки Active, Comfort), Calzamedi Diabetic та Dr. Orto, чиї моделі враховують типові деформації, набряки та потребу у вентиляції. У матеріалах переважають м'яка натуральна шкіра, підкладки з мікрофібри або гладкої шкіри, а також регульовані застібки. Отже, вагітні жінки з діабетом мають перебувати під наглядом мультидисциплінарної команди (ендокринолог, акушер-гінеколог, ортопед-подолог). Раннє виявлення змін, профілактичний догляд і правильно підібране взуття допомагають знизити ризик деформацій, виразок і тяжких ускладнень, що є важливим для здоров'я матері та безпеки плода[3-4].

ПРОПОЗИЦІЇ. Зменшення ризиків, пов'язаних із гестаційним діабетом, можливе лише за умови комплексного підходу до профілактики та моніторингу. Ключовим є обов'язковий скринінг із раннім виявленням порушень обміну речовин, що дозволяє своєчасно призначати корекційні заходи. Створення національного реєстру випадків гестаційного діабету забезпечить достовірність даних, можливість відстеження динаміки та раціональне планування медичних ресурсів. Важливу роль відіграє освітня робота з пацієнтками, яка має включати формування культури самоконтролю, рекомендації з догляду за стопами, гігієни та правильного підбору взуття. Значущим профілактичним напрямом є забезпечення жінок

ортопедичним взуттям та індивідуальними устілками з можливістю часткової компенсації їхньої вартості. Ефективність такої стратегії посилює міждисциплінарний підхід, що об'єднує акушера-гінеколога, ендокринолога та ортопеда для раннього виявлення і корекції змін. Комплексна профілактика й мультидисциплінарна співпраця забезпечують зниження ризиків ускладнень, сприяють безпечному перебігу вагітності та підвищують якість життя пацієнток (рис. 2, табл. 2)[4-5].



Рисунок 2. Взуття для вагітних жінок, які хворіють на цукровий діабет

Таблиця 2. Пропозиції щодо профілактики та моніторингу гестаційного цукрового діабету у вагітних жінок

Напрям	Заходи	Очікуваний ефект
Скринінг	Впровадження обов'язкового глюкозотолерантного тесту у 24–28 тижнів для всіх вагітних; раннє тестування (до 20 тижня) у групах ризику.	Раннє виявлення ГЦД, своєчасне призначення дієти, контролю глікемії або інсулінотерапії.
Моніторинг і збір даних	Створення єдиного національного реєстру випадків ГЦД в системі eHealth.	Достовірна статистика, ефективне планування ресурсів, контроль динаміки поширеності.
Освітні заходи	Інформування вагітних про щоденний догляд за стопами, самоогляд, гігієну; проведення занять у «Школах відповідального батьківства».	Зниження ризику травм, тріщин, потертостей та ускладнень, формування культури профілактики.
Спеціальне взуття та ортопедичні устілки	Забезпечення ортопедичним взуттям та індивідуальними устілками; розробка механізму компенсації вартості через державні програми.	Профілактика деформацій та виразок, зниження вартості лікування ускладнень у майбутньому.
Міждисциплінар-ний підхід	Регулярні консультації ендокринолога, ортопеда; виготовлення індивідуальних ортезів та устілок; фізичні вправи для стоп.	Своєчасне виявлення деформацій, комплексна профілактика ускладнень, покращення якості життя та перебігу вагітності.

ВИСНОВОК. Гестаційний цукровий діабет є актуальною проблемою охорони здоров'я, адже у світі ним ускладнюється до 14 % вагітностей, а в Україні зареєстровано близько 2–3 %, хоча реальна поширеність може бути вищою. Цей стан становить небезпеку не лише з точки зору акушерських ризиків, а й через вплив на інші системи організму, зокрема на стопи. Поєднання метаболічних змін (гіперглікемія) та біомеханічних чинників вагітності (збільшення маси тіла, гормональна розслабленість зв'язок) сприяє прискореному розвитку деформацій і ускладнень, характерних для діабетичної стопи. Профілактика таких наслідків можлива завдяки ранньому виявленню та контролю ГЦД, навчанню пацієнток і

застосуванню спеціальних засобів — ортопедичного взуття, індивідуальних устілок, ретельного догляду за стопами. Правильне взуття знижує тиск на вразливі ділянки, запобігає травмам і покращує якість життя вагітних. Поєднання системного моніторингу діабету та профілактики ортопедичних ускладнень дозволяє зменшити ризики як для матері, так і для дитини, що є важливим завданням сучасної медичної практики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дубоссарська З. М., Нагорнюк В. Т. Цукровий діабет і вагітність. Медичні аспекти здоров'я жінки. 2019. № 4–5 (125–126). С. 5–12.

2. Ляпіс М. О., Герасимчук П. О. Синдром стопи діабетика. Тернопіль : Укрмедкнига, 2001. 276 с.

3.Кузіна Н. В. та ін. Вплив форморозмірів стопи в період вагітності жінок на дизайн та конструкцію взуття : тези доп. конф. Хмельницький, 2024. С. 45–48. URL: http://er.knutd.edu.ua (дата звернення: 02.09.2025).

4.Ортокомфорт. Ортопедичне взуття dw active для хворих на цукровий діабет leather Inspo BW [Електронний ресурс]. URL: https://ortocomfort.ua/ua/catalog/product/5602/

5. Шубенок О. С., Омельченко, Н. М. Коновал, В. П. Ортопедичні пристосування до взуття вагітних жінок [Текст] / О. С. Шубенок, Н. М. Омельченко, В. П. Коновал // Легка промисловість. - 2005. - № 4. - С. 58- 59.

УДК 746:687.1

АПСАЙКЛІНГ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ МОЛОДІЖНОЇ КОЛЕКЦІЇ ОДЯГУ, ВЗУТТЯ ТА АКСЕСУАРІВ У ВУЛИЧНОМУ СТИЛІ

Хоролова М. Г., Водзінська О. І.
Київський національний університет технологій та дизайну

Апсайклінг передбачає творче перетворення старих та непотрібних речей на нові вироби, більш якісні та цінні. На відміну від ресайклінгу, де матеріал перетворюється на сировину, апсайклінг зберігає цілісність речі або її частин, переосмислюючи лише функціональне застосування та естетичну складову. Ця практика стала частиною свідомої моди sustainable fashion, яка зменшує вплив на навколишнє середовище, заощаджує природні ресурси та створює унікальний та ексклюзивний одяг з власною історією [1, 2].

Усвідомлене відношення до моди, так звана «стала мода» більш поширена у країнах Європи і є досить новим напрямом діяльності для українців. Проте поступово з'являються українські дизайнери та торгові марки, зокрема, RCR, Gorohova Atelier, Khomenko, REVICLO, Bettter, Леся Патока, KSENIA SCHNAIDER, Oversized Studio, BEVZA тощо, які активно втілюють у життя принципи sustainable fashion [3-6]. Тому мета роботи – проєктування колекції молодіжного одягу із застосуванням принципів сталої моди, а також популяризація цих принципів серед української молоді, як рушійної сили суспільства, є актуальною задачею.

Вуличний стиль в одязі або streetwear – це повсякденний стиль, який є поєднанням зручності, комфорту, свободи самовираження та ексклюзивності. Він виник у США в 1970-х роках під впливом таких субкультур, як хіп-хоп та скейтбординг. Особливостями цього стилю є оверсайз-речі, спортивний одяг, яскраві кольори, комфортне взуття та аксесуари. Основною ідеєю цього напрямку є індивідуальність, креативність, яскравість, рух наперекір жорстким модним правилам [7]. Вуличний стиль притаманний підліткам та особам молодшої вікової групи, тому запропонована колекція одягу, взуття та аксесуарів призначена саме для цієї вікової категорії споживачів.

При проєктуванні колекції авторами втілено у життя ідею повторного використання в одязі, взутті та аксесуарах механізмів відкривання алюмінієвих бляшанок. Запропоновано використовувати їх як елементи оздоблення виробів (рис. 1). Слід зазначити, що алюмінієві бляшанки після використання піддають повторній переробці. З них також виготовляють арт-об'єкти, інсталяції тощо.



Рисунок 1 – Механізм відкривання алюмінієвої бляшанки для декорування виробів колекції

Використання елементів бляшанок у колекції виробів індустрії моди не є традиційним та надає цим речам унікальності. Творчі ескізи моделей колекції одягу, взуття та аксесуарів з елементами алюмінієвих бляшанок представлено на рис. 2 та 3.



Рисунок 2 – Творчі ескізи колекції одягу у вуличному стилі (авторка М. Хоролова)



Рисунок 3 – Творчі ескізи колекції взуття та аксесуарів у вуличному стилі (авторка М. Хоролова)

В певних моделях одягу елементи бляшанок використовуються як оздоблення-«зірки» на колінах та по низу штанів, у інших– як ажурна смужка-вставка в зоні грудей та елементи логотипу на фуфайці. Також запропоновано виготовлення з них поясу типу ремінь для штанів. Найбільш зухвалою видається ідея створення суцільного металічного виробу – блузки з довгим рукавом – з елементів бляшанок, а також суцільного «полотна» для вставних деталей по низу штанів. В якості оздоблення моделей взуття та сумки запропоновано використання механізмів відкривання бляшанок у вигляді ланцюжків.

Запропоновано технологію кріплення механізмів відкривання алюмінієвих бляшанок до деталей швейних виробів та між собою, яка полягає у використанні спеціальних металевих кілець, блочок та шнура (рис. 4). З'єднання деталей виконується в ручному режимі, що робить вироби ексклюзивними.

Перевагами застосування механізмів відкривання алюмінієвих бляшанок у виробах колекції є унікальність запропонованих моделей, ефектний зовнішній вигляд, дешевизна використаних матеріалів, легкість конструкції оздоблення, забезпечення додаткової повітропроникності виробів. Серед недоліків запропонованого виду оздоблення можна виділити такі: значна трудомісткість виготовлення оздоблення; безпосередній контакт металічних елементів з тілом людини; певна жорсткість конструкції, що дозволяє використовувати її у місцях, де немає згинів виробу або у моделях вільного силуету.



Рисунок 4 – Вироби колекції, виконані в матеріалі

Висновки. Апсайклінг, як спосіб повторного використання речей, є перспективним видом діяльності, особливо для індивідуального виробництва одягу, взуття та аксесуарів. Повторній переробці та застосуванню в індустрії моди можуть підлягати не лише

текстильні матеріали, але й речі, на перший погляд не пов'язані з виробами фешн індустрії. Популяризація виготовлення такого одягу із застосуванням перероблених матеріалів та принципів сталої моди серед української молоді сприятиме поширенню усвідомленого ставлення споживачів до моди та одягу, поступовому переходу населення України від швидкої моди до усвідомленої та сталої.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвиненко, Н., Вороніна, М., & Лавренюк, О. (2022). Вторинне використання матеріалів у дизайні одягу. Вісник КНУКіМ. Серія: Мистецтвознавство, 47, 177-185. https://doi.org/10.31866/2410-1176.47.2022.269635
2. Чупріна Н. В., Сусук М. Б. Апсайклінг та його визначення як напряму екодизайну в сучасній індустрії моди. *Вісник ХДАДМ.* 2014. № 3. С. 38-41.
3. Водзінська О. І., Паукова В. Т. Апсайклінг у проєктуванні колекції одягу. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 27 квітня 2023 року. У 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2023. С. 256-258. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/_%D0%94%D0%
4. Корякіна А. А., Пашкевич К. Л., Герасименко О. Д., Чень Чень (2024). Sustainable fashion в творчості українських та закордонних брендів одягу. *Theory and practice of design. Culture and art.* 2(32). P. 94–106. DOI: https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.12
5. Чупріна Н., Хоменко В., Григоревська О. Проєктні практики екодизайну в розробці одягу та текстильних виробів. *Актуальні питання гуманітарних наук.* Вип. 77, том 3, 2024. С. 132-142. URL: https://doi.org/10.24919/2308-4863/77-3-18
6. Водзінська О. І., Макаренко О. А. Технології апсайклінгу одягу як спосіб популяризації усвідомленого споживання. *Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні регіонів України* : збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 24-26 квітня 2024 року. У 3-х т. Т. 3. Одеса : Олді+, 2024. С. 171-175. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/29296/
7. Streetwear – що це за стиль? Найважливіші елементи вуличної моди. URL : https://blog.evzuttya.com.ua/streetwear-%D1%89%D0%BE-%D1%86%D0%B5

УДК 004.89.655

МОДЕЛЮВАННЯ ФАКТОРІВ ЯКОСТІ DTF-ДРУКУ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Петрів Ю.І., Шукост П.І.
Національний університет «Львівська політехніка»

DTF-друк (Direct-to-Film) забезпечує високу якість відтворення графічної деталізації та універсальність застосування на різних видах тканин. Проте кінцева якість продукції істотно залежить від багатьох взаємопов'язаних етапів технологічного процесу: підготовки макету, друку на плівці, нанесення та фіксації клею, а також трансферу на текстиль [1]. Проблемою залишається числове прогнозування параметрів (температура, тиск, час, тип чорнил, режими сушіння тощо), які б апріорі гарантували необхідний рівень якості. При цьому основна складність полягає у відсутності чіткої залежності між параметрами технологічного процесу та якістю готового виробу. Наприклад, навіть за однакових температурних режимів результати можуть відрізнятися через варіації у складі чорнил, товщині плівки чи рівномірності нанесення клею. Це робить класичні моделі

малоефективними, адже вони не враховують лінгвістичні оцінки та експертні знання. Так, як класичні детерміновані методи у багатофакторних умовах дають обмежені результати, що зумовлює доцільність використання підходів на базі нечіткої логіки. Відповідно моделювання технологічного процесу DTF-друку доцільно здійснювати за допомогою методу нечіткої логіки та лінгвістичних змінних [2, 3].

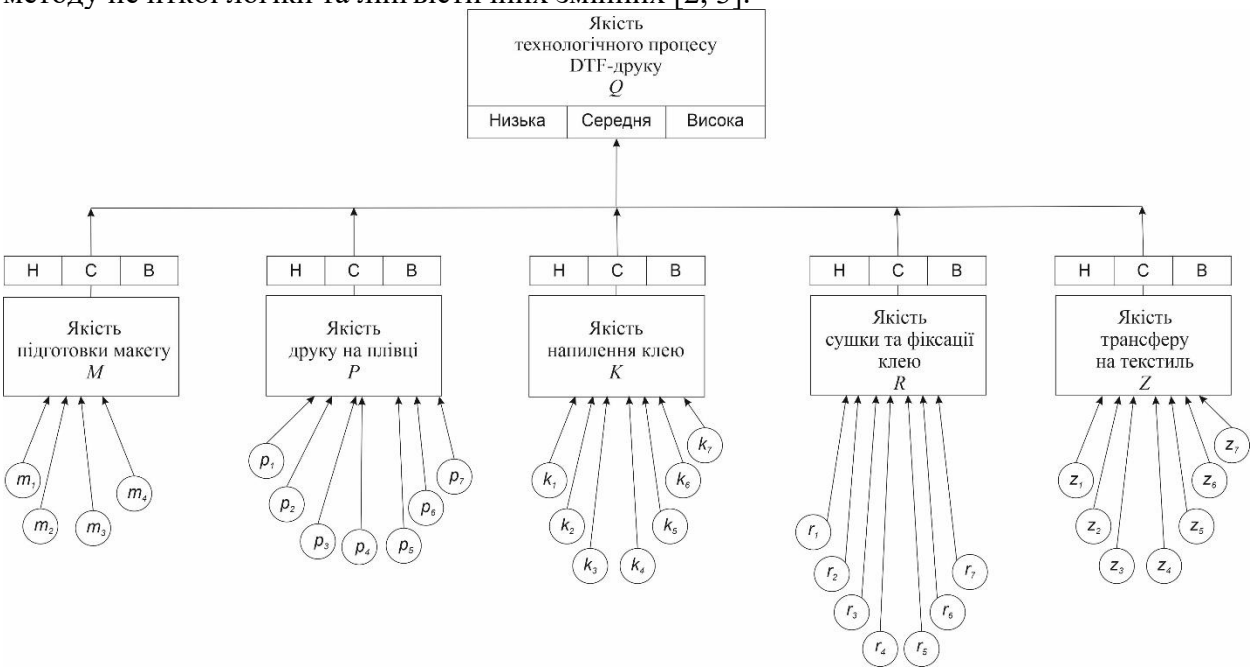


Рисунок 1 – Ієрархічна модель факторів впливу на технологічний процес DTF-друку

Встановивши ієрархічні зв'язки факторів, що впливають на якість DTF-друку, виконано їх класифікацію. За результати класифікації побудовано ієрархічну модель факторів впливу на технологічний процес DTF-друку, що відображено на рисунку 1. Коренем є інтегральний показник якості DTF-друку (Q) з лінгвістичними оцінками «Низька», «Середня», «Висока», а термінальними вершинами — фактори: якість підготовки макету (M), якість друку на плівці (P), якість нанесення клею (K), якість сушіння та фіксації клею (R) та якість трансферу на текстиль (Z).

Звідси ієрархії показників якості буде відповідати система залежностей:

$$Q = f(M, P, K, R, Z), \quad (1)$$

$$M = f_M(m_1, m_2, m_3, m_4), \quad (2)$$

$$P = f_p(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7), \quad (3)$$

$$K = f_k(k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7), \quad (4)$$

$$R = f_R(r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7), \quad (5)$$

$$Z = f_z(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7). \quad (6)$$

Застосування нечітких термів дозволяє формалізувати експертні правила для всіх залежностей (1) – (6). Наприклад, для залежності (1) їх можна подати так:

ЯКЩО якість підготовки макетів $(M) = (\text{Н}, \text{С}, \text{В})$,

І якість друку на плівці $(P) = (\text{Н}, \text{С}, \text{В})$,

І якість нанесення клею $(K) = (\text{Н}, \text{С}, \text{В})$,

І якість сушіння та фіксації клею $(R) = (\mathrm{H}, \mathrm{C}, \mathrm{B})$,

І якість трансферу на текстиль $(Z) = (\mathrm{H}, \mathrm{C}, \mathrm{B})$,

ТОДІ якість технологічного процесу DTF-друку $(Q) = (\mathrm{H}, \mathrm{C}, \mathrm{B})$.

Таким чином, для кожної залежності (1) – (6) формуються математичні моделі [4], що дають змогу прогнозувати рівень якості технологічного процесу на основі відомих значень факторів. Моделювання здійснюється за допомогою нечітких логічних рівнянь, які встановлюють взаємозв'язок функцій належності різних рівнів факторів, наведених на рисунку. Кожному такому рівнянню відповідає база знань, яка відображає експертні судження щодо зв'язку нечітких термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних у залежностях (1) – (6).

Висновки. Використання нечіткої логіки для моделювання якості DTF-друку дає змогу ефективно вирішувати задачу прогнозування у багатофакторному середовищі. Розроблена ієрархічна модель факторів впливу дає змогу прогнозувати якість готового виробу на основі експертних оцінок, визначати критичні фактори, що найбільше впливають на кінцевий результат, а також здійснювати багатофакторний аналіз без потреби у точних числових даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bryant H. Unlocking the Potential of DTF Printing: A Comprehensive Guide for Custom Merchandise Businesses / H. Bryant // ResearchGate. – 2024.
2. Ротштейн О.П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: монографія / О.П. Ротштейн, Є.П. Ларюшкін, Ю.І. Мітюшкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
3. Сявавко М.С. Інтелектуалізована інформаційна система «Нечіткий експерт» / М.С. Сявавко. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. – 320 с.
Durnyak B., Shepita P., Tupychak L., Petriv Y., Shepita J. Post-press product quality assessment models for the IIoT system / B. Durnyak, P. Shepita, L. Tupychak, Y. Petriv, J. Shepita // *Proceedings of the 1st International Workshop on Intelligent & CyberPhysical Systems (ICyberPhyS-2024)*. – Khmelnytskyi, Ukraine, June 28, 2024. – CEUR Workshop Proceedings. – ISSN 1613-0073. – Available at: http://ceur-ws.org

UDC 621.868:687.052

ANALYTICAL REVIEW OF MORGAN TECNICA ROLL LOADERS

Kostiantyn Bilashov, Mykola Rubanka, Yurii Kovalov
Kyiv National University of Technology and Design

The usage of laying complexes is one of key stages in process of preparing materials for sewing clothes or other products in the garment industry. The main function of these systems is optimization of the roll material laying process in scope of preparation it for cutting into parts of required sizes and shapes. The usage of laying complexes allows to perform accurate cutting of fabric in large volumes, which is especially important for industrial production, where it is necessary to achieve high productivity. Modern automated systems have obvious advantages, such as high accuracy, reduced waste and reduced human participation in process. This makes production more profitable and less dependent on human errors [1].

Automation of material and roll supply to laying complexes is important, since this step can be time-consuming and physically demanding. The integration of automated material loaders can significantly increase productivity, minimize health risks for workers who have to lift heavy

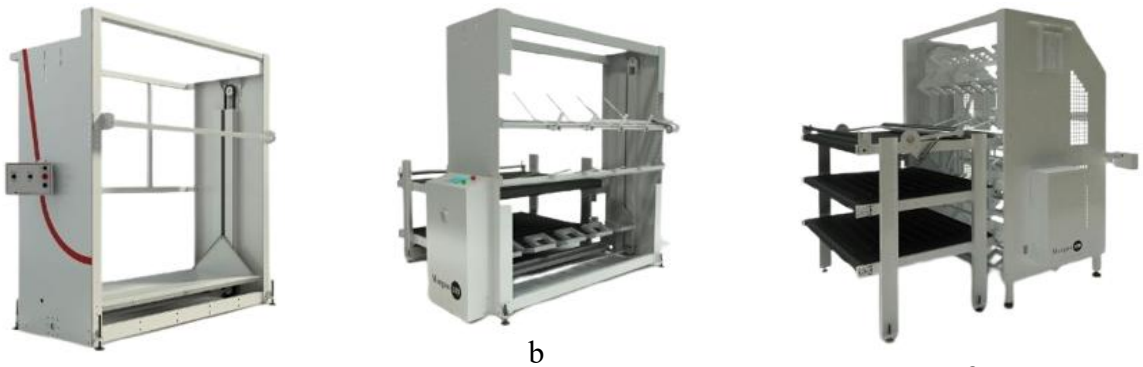
rolls of fabric, and reduce equipment downtime. With such technologies, enterprises can achieve production process continuity, which is important for large sewing productions with continously-increasing requirements for product volume and quality [2].

There are many manufacturers and models of equipment on the market that specialize in automating the loading of fabric and roll materials onto laying complexes. One of such is Morgan Tecnica - an Italian manufacturer of advanced equipment for the textile industry, which produces products for automation cutting and laying fabrics process, including roll loaders, as auxiliary equipment. Their systems use built-in sensors for precise positioning and can work with various types of roll materials. Advantages - high productivity, automatic roll positioning, use of innovative technologies, ability to integrate with other components of Morgan Tecnica cutting complexes. Used in enterprises with large production volumes and the need for accurate and fast supply of roll material. Models of loaders of the 311, 312, 313, 320, 330 series are shown in Figure 1.

Models of the 311, 312, 313 series are motorized roll loaders from ground level, have similar design and provide similar functionality, their main differences are the maximum roll weight that corresponding device is able to lift - 100, 200 and 300 kg respectively [3]. A durable metal frame is fixed to the edge of laying complex. From a special control panel, operator controls system for lifting the roll loaded in support cradle from ground level directly onto the laying machine. A special device for automatic cradle reverse facilitates loading the rolls above machine tower. The maximum roll diameter for all models is 600 mm, length is 1800 or 2300 mm, system power is 0.5 kW.

Series 320 is a single automatic carousel for rolls storing and transportation. The design consists of storage area with conveyor multi-level platforms, the lower one is designed for pre-loading rolls, already in correct unfolding sequence, and the upper one is designed for collecting used rolls, which are automatically collected from the table. Maximum roll weight - 50 kg, diameter - 300 mm, length -1800/2300 mm, power - 2 kW.

The 330 series is an automatic 10-roll carousel for rolls storing and transportation. The storage area consists of 2 conveyor platforms overlapping each other. The lower platform is designed for pre-loading the rolls, initially set in random position, as the correct laying sequence is set by control panel equipped with an interactive PC Touch with special advanced software, intuitive and user-friendly. The upper platform is designed for collecting used rolls, which are automatically collected after laying. The roll loading/unloading carousel is controlled in fully automatic mode to minimize downtime and increase productivity. Maximum roll weight - 60 kg, diameter - 300 mm, length -1800/2300 mm, power - 3 kW.



a b c

1. Figure 1 - Morgan Tecnica roll loader models:
2. a — series 311, 312, 313; b — series 320; c — series 330

Conclusions. Automation of roll material supply process is an important stage in the development of modern production processes of garment industry. Due to their flexibility and ability to adapt to the needs of various industries, the Morgan Tecnica 311, 312, 313 series systems contribute to increasing the accuracy and speed of work, operator safety, which reduces the risk of injuries [4]. Their use in production can significantly increase productivity, reduce laboriousness of material loading processes, equipment downtime, and ensure continuity of cutting process, especially when the most optimal equipment is selected according to production volumes and specific needs of sewing enterprises. Such systems have potential for implementation in large factories and small enterprises, where frequent fabric rolls replacement is required [5]. In future, development of such technologies can become the basis for full automation of material supply processes, which, in its own turn, will lead to improving production efficiency, reducing cost and improving product quality. Worth mentioning that analyzed designs of roll loaders for laying complexes only partially meet the current operating conditions of garment enterprises. Therefore, the automation of the most labor-intensive operations, as well as the development of new models and the improvement of existing roll loaders, remain important and relevant tasks.

REFERENCES

1. Innovative technologies in the manufacture of sewing products: cutting production equipment / M. Rubanka, V. Dvorzhak, A. Rubanka, O. Polishchuk, S. Goryashchenko // Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: Technical Sciences. – 2022. – No. 6, Vol. 1 (315). – P. 188-197.

2. Laying machines and tables. [Electronic resource]. – Access mode: https://shvejnik.com.ua/ua/nastilochni-mashini-ta-stoli (application date 03/27/2025).

3. Morgan Tecnica Loaders and Roll Handling Systems. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.morgantecnica.com/en/products/machinery/loaders-range/(application date 03/27/2025).

4. A. Slavinska, O. Syrotenko. Analysis of modern laying equipment used in sewing industry. Bulletin of Khmelnytsky National University No. 1 (317), 2023. – pp. 196-204.

5. Technologies of experimental and preparatory-cutting production in the sewing industry: Study guide / S. Bereznenko, O. Vodzinska, L. Bilotska, S. Lozovenko. – Kyiv: KNUTD, 2023. – 340 p.

УДК 685.34.016

ВИГОТОВЛЕННЯ НАКЛАДОК НА ВЗУТТЄВІ КОЛОДКИ МЕТОДОМ FDM-ДРУКУ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАМОВНИКІВ ІЗ ДЕФОРМАЦІЯМИ СТОП

Каптюрова Д.О., Чертенко Л.П., Липський Т.М.
Київський національний університет технологій та дизайну

Проблеми індивідуалізації виробництва взуття набувають особливої актуальності у випадках, коли замовники мають ортопедичні відхилення, зокрема деформації першого плюсно-фалангового суглоба (hallux valgus), молоткоподібні пальці, болючі мозолі, рубці та інші відхилення, що потребують кастомізації форми колодки. Стандартні колодки не враховують подібні особливості стопи, та не можуть служити основою для створення корисного взуття для людей з ортопедичними вадами [1]. Виготовлення персоналізованих колодок вирішує цю проблему, але не завжди є ефективним рішенням по причині різкого збільшення собівартості взуттєвої продукції.

Одним із ефективних рішень може стати використання змінних накладок на колодки, що дозволяють швидко адаптувати їх форму під параметри стопи замовника. Впровадження технології 3D-друку у цій сфері відкриває нові можливості для гнучкого, швидкого та економічного виготовлення таких елементів [2].

Мета роботи – розробити спосіб виготовлення накладок на взуттєві колодки для замовників з деформаціями стопи методом FDM-друку, з урахуванням індивідуальних анатомічних особливостей.

В роботі було проведено 3д дослідження стопи замовника з вальгусною деформацією першого плюсно-фалангового суглоба, яка супроводжується суттєвим збільшенням периметру пучкового перерізу стопи. За допомогою порівняння 3д моделей було підібрано колодку, що за розмірами була максимально наближеною до розмірів стопи. На основі порівняння результатів обмірів стопи та колодки визначено необхідні розміри накладок, та у програмі для 3D-моделювання Rhinoceros спроєктовано їх моделі з посадочним шипом для фіксації у колодці (рис. 1).

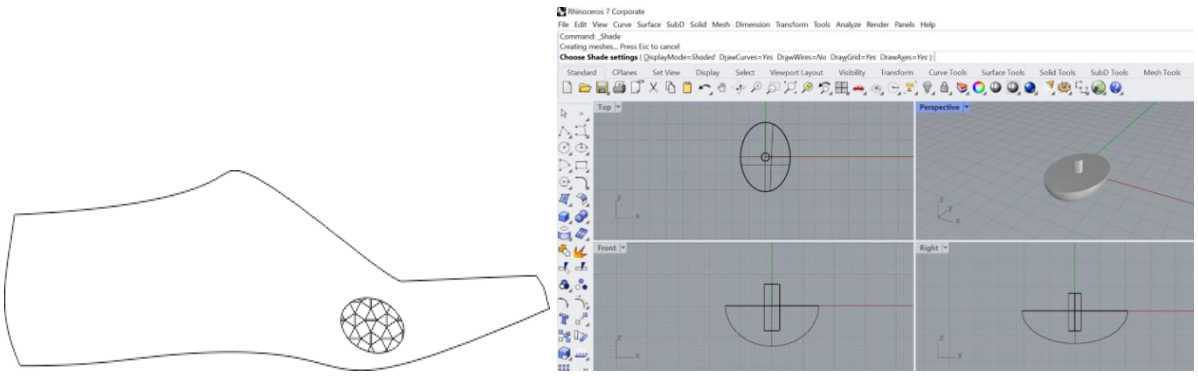


Рисунок 1 – Схема розміщення накладки на колодці та спроєктована модель накладки на кісточку у Rhinoceros.

Для друку було обрано 3D-принтер FLSUN (технологія FDM) та філамент PLA-HS (високоміцний полілактид), що відзначається стабільною геометрією під час друку та достатньою жорсткістю для утримання форми при механічних навантаженнях [3].

3D-модель було підготовлено до друку за допомогою слайсера FLSUN з наступними параметрами:

- Висота шару – 0,2 мм;
- заповнення – прямолінійне, 25 %;
- температура сопла – 215 °C;
- температура столу – 60 °C.

Для покращення адгезії моделі в слайсері було додано “спідничку” (brim) – тонкий шар додаткових ліній, які друкуються безпосередньо приліпленими до основи моделі навколо її периметра. На етапі пост-обробки моделі “спідничку” було знято.

Надруковані накладки (рис. 2) мали високу точність розмірів та рівну поверхню, що дозволило без додаткового коригування встановити їх у робочі колодки шляхом встановлення шипа в отвір колодки. Матеріал PLA-HS забезпечив достатню жорсткість, що дозволило під час формування взуття зберігати геометрію в зоні випинання.



Рисунок 2 – Надрукована модель накладки на кісточку. Вид знизу та зверху, колодка з накладкою.

Встановлення накладок дозволило модифікувати колодку без її повного перероблення, скорочуючи витрати часу та ресурсів.

Висновки. Розроблений спосіб виготовлення індивідуальних накладок на колодки методом FDM-друку показала свою ефективність. Використання PLA-HS забезпечує достатню жорсткість і точність деталей. Метод дозволяє швидко адаптувати стандартні колодки під потреби клієнтів із деформаціями стоп. Отримані результати підтверджують ефективність використання FDM-друку у виготовленні змінних накладок на взуттєві колодки. Порівняно з традиційними методами виготовлення личин на колодки, 3D-друк дає змогу швидко виготовити індивідуальні деталі, вносити зміни у конструкцію без додаткових витрат та зберігати базову колодку для подальшого використання з іншими накладками. Цифровий формат даних дозволяє здійснювати аналіз, порівняння форм та використання накладок для створення нових персоналізованих моделей для різних замовників.

Недоліком PLA-HS є його чутливість до високих температур, що слід враховувати при термоформуванні взуття. Подальші дослідження доцільно спрямувати на: використання гнучких і термостійких полімерів (PETG, TPU) та автоматизацію процесу моделювання накладок на основі 3D-сканування стоп.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chen, H.-Y., Peng, H.-T., Chang, C.-K., Wang, F.-T., Yen, C.-H., Wang, T.-Y., Chuang, H.-C., Chiu, F.-Y., & Song, C.-Y. (2022). Immediate Effect of Customized Foot Orthosis on Plantar Pressure and Contact Area in Patients with Symptomatic Hallux Valgus. *Applied Sciences*, *12*(15), 7593. https://doi.org/10.3390/app12157593
2. Kaptiurova D. Development of an Orthopedic Unloading Insole for Patients with Disabilities Using Additive Technologies / D. Kaptiurova, L. Chertenko, O. Udovenko // 9th International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Obuda, Budapest, Hungary, March 2024. Budapest : Obuda University, 2024. – P. 100-110.
3. The Filament PLA HS - Spectrum Filaments. *Spectrum Filaments - Spectrum Filaments - polski producent filamentu 3D*. URL: https://spectrumfilaments.com/en/filament/the-filament-pla-hs/ (date of access: 13.08.2025).

УДК 621.924.7

УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ІНДУСТРІЇ МОДИ

Кошель О.С., Панасюк І.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

Відомі конструкції машин для поверхневої обробки деталей індустрії моди [1, 2] та їх конструктивні удосконалення [3, 4], в яких складний рух деталям, що підлягають обробці задає робоча ємність, яка має складний просторовий рух. Раціональні величини основних геометричних розмірів таких машин визначаються в залежності від їх конструкцій та ряду експлуатаційних характеристик, тому машини такої конструкції повинні мати ряд типорозмірів, що забезпечуватимуть якісну обробку деталей широкого асортименту, що є економічно не вигідним. Машина іншої конструкції [5] не потребує наявності ряду її типорозмірів для того, щоб забезпечувати обробку деталей різного асортименту, вона може забезпечувати рухомість ланок подвійного просторового шарніра, виконаного у вигляді двох вилок і робочої ємності, закріпленої між ними на діаметрально

взаємно перпендикулярних геометричних осях для широких діапазонів регулювання геометричних параметрів, але для незмінних величин частот обертання двох ведучих валів, що значно обмежує можливий технологічний потенціал машини для обробки деталей.

Пропонуємо машину для обробки деталей (рис. 1), яка містить станину 1, в якій розміщений привод з електродвигуном 2, перший ведучий вал 3 та привод з електродвигуном 4 та другим ведучим валом 5, що встановлені, відповідно, в підшипникових опорах 6 та 7 додатково оснастити співвісними варіаторами швидкості 15 та 16 та встановити їх співвісно, відповідно, з геометричними осями валів 3 та 5. На другому ведучому валу 5 встановлений кривошип 8, який кінематично з'єднаний з подвійним просторовим шарніром 9, що виконаний у вигляді першої 12 та другої 10 вилок, діаметрально взаємно перпендикулярні осі яких 13 та 11 є осями кріплення робочої ємності 14. В свою чергу перша вилка 12 з'єднана з першим ведучим валом 3, який розташований співвісно до другого ведучого валу 5.

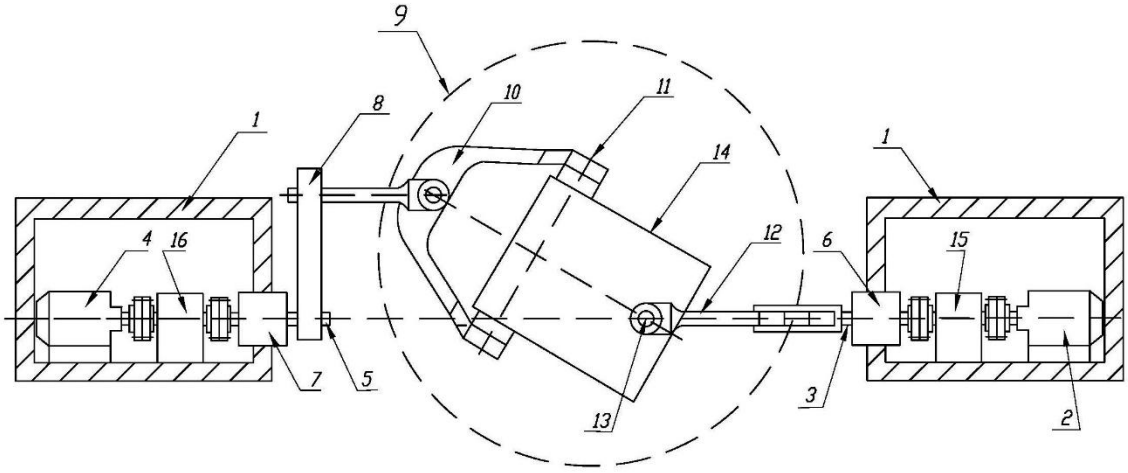


Рисунок 1 – Машина для обробки деталей

Таким чином, зміну режимів обробки деталей певного асортименту в машині такої конструкції можна отримувати за допомогою осьових варіаторів швидкості 15 та 16, які дозволяють підбирати необхідні для обробки деталей певного асортименту кутові швидкості, відповідно, ведучих валів 3 та 5.

Висновки. Конструкція машини для обробки деталей з двома варіаторами швидкості дозволяє оптимально обирати необхідні кутові швидкості ведучих валів машини та забезпечує оптимальні умови руху масиву деталей того чи іншого асортименту в робочий ємності з одночасним підвищенням продуктивності та якості виконання галтувальних технологічних операцій обробки деталей та змішування. Машина такої конструкції може бути використана при обробці деталей вільногранульованою абразивною масою робочого середовища для очищення, шліфування, полірування, зміцнення поверхневого шару деталей, очистки поверхонь від задирок, продуктів корозії, заокруглення гострих країв, відділення деталей від ливників, подрібнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. патент України №110417, МПК (2016.01): B01F 11/00.
2. патент України №109083, МПК (2016.01): B01F 11/00, B24B 31/00.
3. Zalyubovskii M.G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels/ M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk// International Applied Mechanics. – 2020. – No. 6. – P. 762-772.

4. Zalyubovskii M.G. On the study of the basic design parameters of a seven-link spatial mechanism of a part processing machine/ M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk// International Applied Mechanics. – 2020. – No. 1. – P. 54-64.
5. патент України №155458, МПК (2024.01): B01F 31/00, B24B 31/00.

УДК 687.017.2

МЕХАНІЗМ ГОЛКИ ШВЕЙНОЇ МАШИНИ РОЗГАЛУЖЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Сугулов В.С.,Кошель С.О.
Київський національний університет технологій та дизайну

Відома конструкція механізму голки швейної машини човникового стібка [1], що містить: головний вал, кривошип, з'єднаний обертовою кінематичною парою з верхньою головкою шатуна, нижня головка якого з'єднана іншою обертовою парою з повідком, закріпленим на голководі, повзун, з'єднаний з пальцем і напрямною, розташованою в корпусі машини. Недоліком механізму є наявність інерційних навантажень, поява яких викликається нерівномірним зворотно поступальним рухом голковода та їх вплив на зусилля в кінематичних парах, що за умови їх малої кількості призводить до збільшення питомого тиску в кінематичних елементах пар та, як наслідок, до їх підвищеного зносу. Також до недоліків такого несиметричного механізму можна віднести напрямки силового навантаження на кінематичні пари, що призводять до перекосу голковода відносно циліндричної напрямної, збільшення сил тертя та зношення елементів кінематичної пари.

Метою роботи є розробка розгалуженої конструкції симетричного механізму голки швейної машини, в якому шляхом введенням нових зв’язків елементів забезпечується зменшення інерційних навантажень за рахунок зменшення маси голковода та покращуються його динамічні характеристики. Збільшення кількості кінематичних пар в механічній системі дозволить зменшити питомий тиск на елементи кінематичних пар та одночасно збільшити довговічність їх роботи.

Поступальний рух голководу 15 (рис.1) разом з голкою 1 забезпечує головний

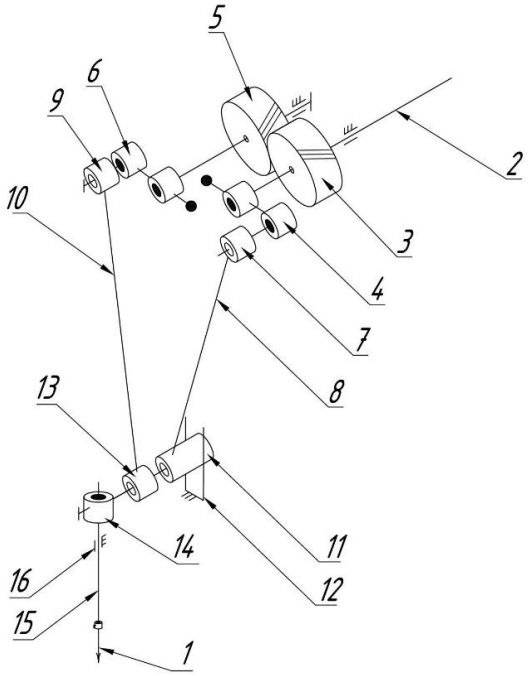


Рисунок 1 – Кінематична схема механізму голки швейної машини розгалуженої конструкції

вал машини 2, який призводить до руху перший кривошипом 4 та ведуче колесо 3, яке за допомогою веденого колеса 5 забезпечує рух другому кривошипу 6. Перший кривошип 4 з'єднаний обертальною кінематичною парою з верхньою головкою 7 першого шатуна 8, другий кривошип 6 з'єднаний обертальною кінематичною парою з верхньою головкою 9 другого шатуна 10. нижня головка 11 першого шатуна 8 встановлена в нерухому напрямну 12 та з'єднана обертовою парою з нижньою головкою 13 другого шатуна 10 віссю, що приєднана до повідка 14, який закріплює голковод 15. Голковод встановлений в одну нерухому напрямну 16 (замість двох), що дозволяє зменшити його довжину та масу.

Механізм голки працює наступним чином: обертальний рух від головного вала 2 за допомогою циліндричних зубчатих коліс 3 та 5 передається двом ведучим кривошипам 4 та 6 (які розташовані симетрично), що мають однакові за величиною та різні за напрямком обертальні рухи. Від кривошипів рух передається до голковода за допомогою шатунів 8 та10.

Висновки. За рахунок введення додаткових ланок та кінематичних пар отримано більш працездатний механізм голки нової конструкції, в якому питомий тиск на елементи кінематичних пар є зменшеним за рахунок збільшення кількості кінематичних пар та розгалуження технологічного зусилля за двома напрямками при умові не змінних за величиною технологічних зусиль, що діють на ланки. Також в механізмі голки розгалуженої конструкції виникла можливість зменшити довжину, а отже і масу голковода, який рухається зворотно поступально, що, зрозуміло, призводить до покращення його динамічних характеристик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пищиков В О., Орловський Б. В. Проектування швейних машин: Навчальний посібник для ВНЗ за спеціальністю «Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування».-К.:Видавничо-поліграфічний дім «Формат», 2007.-320 с.

УДК 621.9.06

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГОЛКИ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Плешко С.А.
Київський національний університет технологій та дизайну

Відома голка в'язальної машини, що містить стержень з крючком і язичком на одному його кінці та хвостовик з п'яткою на другому його кінці. П'ятка виконана за одне ціле зі стержнем голки і містить посередині розріз, утворюючи дві напівп'ятки (розрізна п'ятка). Наявність двох напівп'яток, кожна з яких виконана у вигляді консольної балки, усуває появу в п'ятці знакозмінних навантажень, зумовлених взаємодією п'ятки з клинами замків (одна з напівп'яток взаємодіє лише з підйомними клинами, а друга – з кулірними клинами) та знижує жорсткість п'ятки і, тим самим, зменшує величину ударних хвиль напружень, підвищуючи надійність та довговічність роботи голки. Але виконання п'ятки за одне ціле зі стержнем голки не дозволяє в повній мірі знизити жорсткість п'ятки, що знижує довговічність роботи голки в'язальної машини.

Відома також голка в'язальної машини, що містить стержень з крючком і язичком на одному його кінці та хвостовик з п'яткою на другому його кінці (Пат. України на

корисну модель № 40693, D04 B 15/04, 2009 р.). П'ятка виконана окремо від стержня голки та має П – подібну форму, основа якої прикріплена до стержня, що дозволяє зменшити жорсткість п'ятки. Але виконання хвостовика у вигляді прямого стержня не дозволяє забезпечити стійкість голки в процесі взаємодії її з клинами (можливість відхилення голки від вертикального положення), що призводить до зниження довговічності роботи голки.

Метою дослідження є задача створити таку конструкцію голки, в якій введенням нових елементів та новим виконанням елементів голки забезпечилось би підвищення довговічності її роботи.

Поставлена задача вирішена тим, що у голці в'язальної машини, яка містить стержень з крючком і язичком на одному його кінці та хвостовик з п'яткою на другому його кінці, хвостовик додатково містить відгин, причому хвостовик виконаний у вигляді петлі.

Додаткове обладнання хвостовика відгином та виконання хвостовика у вигляді петлі забезпечує стійкість положення голки, що призводить до підвищення довговічності її роботи.

На кресленні представлено загальний вид голки в'язальної машини.

Голка містить стержень 1 з крючком 2 і язичком 3 на одному його кінці і хвостовик 4 з п'яткою 5 на другому його кінці. П'ятка 5 виконана зі сталевого пружинного дроту у вигляді окремого П - подібного пружного елементу, прикріпленого до стержня 1. Кінці 6 і 7 П - подібного пружного елементу виконують роль напівп'яток (робочих елементів) п'ятки. Хвостовик 4 містить відгин 8 та виконаний у вигляді петлі 9.

Принцип роботи голки такий. При вмиканні, наприклад, круглов'язальної машини голки, встановлені в голковому циліндрі механізму в'язання (на кресленні не показані), починають обертатися. При цьому кінці 6 і 7 п'ятки, взаємодіючи з клинами механізму в'язання (на кресленні не показані), забезпечують зворотно-поступальний рух голки в пазу голкового циліндру. Крючок 2 та язичок 3, взаємодіючи з пряжею та петлями трикотажного полотна (на кресленні не показані), забезпечують здійснення процесу петлетворення, необхідного для одержання трикотажного полотна. Наявність у хвостовика 4 відгину 8 та виконання його у вигляді петлі 9 забезпечує стійкість положення голки при взаємодії її з клинами механізму в'язання, що призводить до підвищення довговічності її роботи.

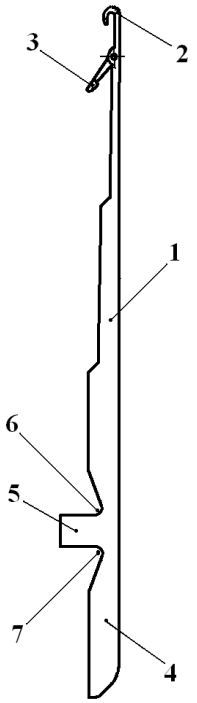


Рис.1

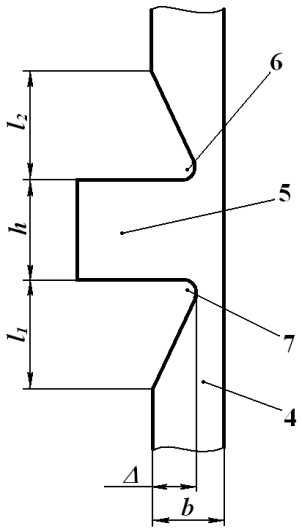


Рис.2

Використання запропонованої конструкції голки в'язальної машини дозволяє:

- розширити асортимент голок в'язальних машин;
- підвищити довговічність роботи голки і в'язальної машини в цілому за рахунок зменшення навантажень, що діють на п'ятку голки при роботі в'язальної машини;
- підвищити продуктивність в'язальної машини за рахунок підвищення довговічності роботи голок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Піпа Б.Ф. Динаміка механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2008. – 416 с.
2. Піпа Б.Ф., Плешко С.А. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К.: КНУТД, 2012. – 470 с.
3. Волощенко В.П., Піпа Б.Ф., Шипуков С.Т. Експлуатаційна надійність машин трикотажного виробництва. – Київ Техніка, 1977. – 136 с.
4. Пипа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А. Підвищення надійності трикотажного обладнання. – Київ : Техніка, 1983. – 111 с.
5. Плешко С. А. Підвищення ефективності роботи в'язальних машин : монографія / С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов, М. М. Рубанка. – Київ : КНУТД, 2022. – 288 с.

УДК 621.9.06

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ КЛИНІВ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Плешко С.А.
Київський національний університет технологій та дизайну.

Відомий клин в'язальної машини, що містить корпус та робочу поверхню. Клин виконано у вигляді жорсткої конструкції, частина якої, що утворює робочу поверхню, з метою зниження тертя при взаємодії її голками, прошліфована і відполірована. Жорсткість робочої поверхні викликає значні динамічні навантаження, що виникають в зоні ударної взаємодії голок з робочою поверхнею клина, що знижує надійність та довговічність роботи клина в'язальної машини.

Відомий також клин в'язальної машини, що містить корпус та робочу поверхню. Клин виконано у вигляді жорсткої масивної конструкції, при цьому вздовж робочої поверхні клина виконано наскрізний замкнутий паз, що ускладнює технологію виготовлення клина та зумовлює значну витрату матеріалу на його виготовлення.

Мета дослідження створити таку конструкцію клина в'язальної машини, в якій новим виконанням його елементів та їх зв'язків забезпечились би спрощення технології виготовлення клина, економія його матеріалу та підвищення довговічності роботи.

Поставлена задача вирішена тим, що в клині, що містить корпус та робочу поверхню, корпус виконаний з відгином, що виконує роль робочої поверхні, та містить паз, розташований в нижній частині корпусу перпендикулярно робочій поверхні та виконаний наскрізним.

Доцільно, щоб паз мав розміри, що вибираються із умови:

$$a = (0{,}1...0{,}2)\Delta;\ b = (3...4)\Delta;\ l = (2...3)\Delta,$$

де a - ширина пазу;

Δ - товщина корпусу;

b - відстань пазу від низу корпусу;

l - довжина паза.

Виконання корпусу клина з відгином, що виконує роль робочої поверхні, та наявність в ньому паза, розташованого в нижній частині корпусу перпендикулярно робочій поверхні та виконаного наскрізним, спрощує технологію виготовлення клина в'язальної машини, забезпечує економію його матеріалу та підвищення довговічності роботи.

Вибір розмірів паза із умови: $a=(0{,}1...0{,}2)\Delta$; $b=(3...4)\Delta$; $l=(2...3)\Delta$ забезпечує рівноміцність елементів клина, що також призводить до підвищення довговічності його роботи.

На рис. 1 представлено загальний вид клина в'язальної машини. На рис. 2 представлено розріз А – А клина в'язальної машини.

Клин містить корпус 1, робочу поверхню 2, відгин 3 та паз 4. Відгин 3 розташовано перпендикулярно площині корпуса, а одна із поверхонь його виконує роль робочої поверхні 2. При цьому корпус 1 виготовлено із листового матеріалу шляхом штамповки, а робоча поверхня 2 утворена шляхом відгину частини корпуса 1. Паз 4 виконано наскрізним та розташовано перпендикулярно робочій поверхні 2. Клин містить також два отвори 5, 6 для кріплення корпуса 1 до замкового блоку механізму в'язання (на рис. 1, 2 не показані).

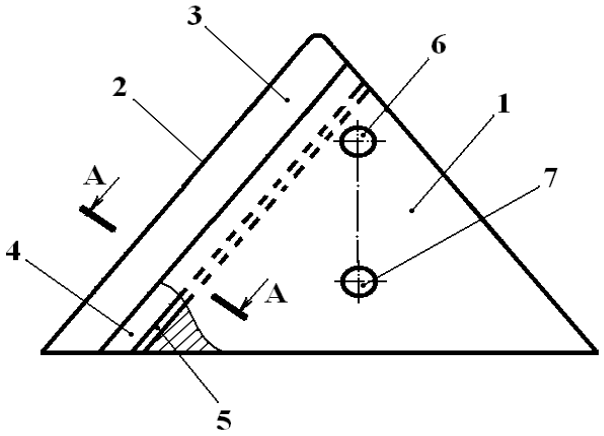


Рис.1

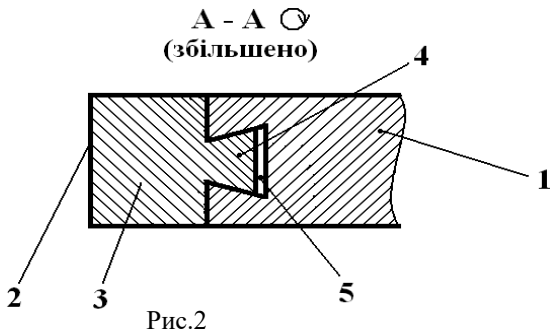


Рис.2

Принцип роботи клина такий. При вмиканні, наприклад, круглов'язальної машини голки, встановлені в голковому циліндрі механізму в'язання (на рис. 1, 2 не показані), починають обертатися. При цьому голки, зустрічаючи на своєму шляху робочу поверхню 2, піднімаються вгору (згідно з кресленням), виконуючи технологічний процес утворення петель трикотажного полотна (на рис. 1, 2 не показано). Оскільки клин містить паз 4, розташований в зоні взаємодії його з голками, а робоча поверхня 2 утворена шляхом відгину корпуса 1 і являє собою пружний елемент (корпус виконано штамповкою із тонкого стального листового матеріалу) запропонована конструкція клину забезпечує

також зниження динамічних навантажень, зумовлених ударною взаємодією п'яток голок з робочою поверхнею .

Використання запропонованої конструкції клина дозволяє:

- розширити асортимент клинів в'язальних машин;
- спростити технологію виготовлення клина в'язальної машини, одержати економію матеріалу для його виготовлення та підвищити довговічність роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Піпа Б.Ф. Динаміка механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2008. – 416 с.
2. Піпа Б.Ф., Плешко С.А. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К.: КНУТД, 2012. – 470 с.
3. Волощенко В.П., Піпа Б.Ф., Шипуков С.Т. Експлуатаційна надійність машин трикотажного виробництва. – Київ Техніка, 1977. – 136 с.
4. Пипа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А. Підвищення надійності трикотажного обладнання. – Київ : Техніка, 1983. – 111 с.
5. Плешко С. А. Підвищення ефективності роботи в'язальних машин : монографія / С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов, М. М. Рубанка. – Київ : КНУТД, 2022. – 288 с.

УДК 661.185:615.263:615.282

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТВЕРДИХ ШАМПУНІВ ПРОТИ ЛУПИ

Семенко Д.А., Моргун В.І., Салєба Л.В.
Херсонський національний технічний університет

Шампуні є одним із найбільш необхідних засобів для догляду за волоссям. Традиційні та звичні засоби часто містять хімічні інгредієнти, що викликають подразнення шкіри та мають негативний вплив на навколишнє середовище.

Останніми роками все більший інтерес приділяється натуральним продуктам особистої гігієни, тому популярності почали набувати тверді шампуні, що є концентратами рідких форм. Тверді шампуні містять у своєму складі натуральні інгредієнти: рослинні олії (кокосова, оливкова або олія авокадо), рослинні екстракти (екстракт ромашки, кропиви або чайного дерева), основою можуть бути мильні горіхи, кокосульфат натрію, кокоїл ізетіонат натрію, саркозинат натрію, мильна глина; а також, ефірні олії, які додаються для надання аромату та посилення ефекту. На відміну від рідких шампунів вони не містять сульфатів, парабенів, які пригнічують розвиток патогенних бактерій у поживному рідкому середовищі та інших хімічних речовин, що можуть обтяжувати волосся і шкодити йому. Відомо, що користь та безпечність шампуню напряму залежить від поверхнево-активних речовин, які входять до складу продукту. Саме тому у складі твердого шампуню замість агресивних сульфатів, використовують ПАР на основі рослинної сировини, такі як кокоїл ізетіонат натрію, кокоглюкозид, які є біологічно розкладними і не забруднюють довкілля. Крім того пакування твердого шампуню не потребує пластику, тому можна використовувати біорозкладні або вже перероблені матеріали (папір, картон, компостовані полімери).

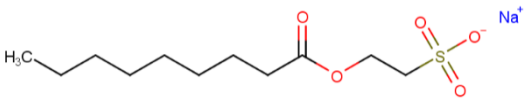
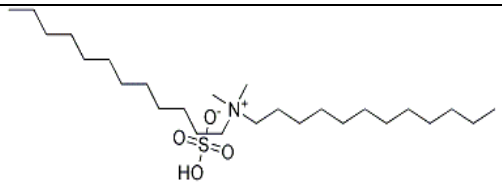
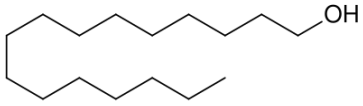
У рецептурі твердих шампунів використовують натуральні глини (в основному глини *Rhassoul*, каолін, зелену, блакитну, червону та інші), які містять корисні для волосся мікроелементи (іони кремнію та магнію, іони натрію, оксиди калію, кальцію, заліза та

алюмінію), нейтралізують токсини, позбавляють від лупи, живлять волосся та шкіру голови, нормалізують роботу сальних залоз, заспокоюють подразнену шкіру. Наступним важливим компонентом у складі є зволожуючі агенти – гліцерин, алое вера, рослинні олії, що запобігають пересушуванню, забезпечують живлення і зволоження волосся, надають йому природний блиск. Найчастіше у складі твердих шампунів можна зустріти такі рослинні екстракти – екстракти ромашки, розмарину, хвощу польового, імбиру, кропиви, лопуха, цибулі, червоного перцю, обліпихи, спіруліни, що мають лікувальну, заспокійливу та відновлювальну дію, а також виступають певною мірою як консерванти, оскільки перешкоджають росту бактерій та зберігають свіжість продукту. Введення вітамінів, протеїнів зміцнює волосяні фолікули, чим зменшує випадіння волосся, надає пружності, еластичності, блиску та зволожує його.

Дослідженнями встановлено, що головною причиною появи лупи є дріжджові грибки *Pityrosporum orbiculare* та *Pityrosporum ovale* роду *Malassezia*, в яких за певних умов підвищуються ліпофільні властивості, що призводить до розвитку запальних реакцій шкіри. Засоби для лікування лупи обов'язково включають один або декілька активних компонентів, які виявляють протигрибкову активність. Найпопулярнішими синтетичними компонентами є: цинкова сіль піролідон-карбонової кислоти (L-PCA), мідь PCA, циклопірокс, клотримазол, кетоконазол, октопірокс, клімбазол та дисульфід селену. Серед природніх інгредієнтів рекомендується використовувати березовий дьоготь, листя німу (*Azadirachta indica*), олію чайного дерева, екстракт алое вера, кутібіом тощо.

Розглянувши основні і допоміжні інгредієнти у складі миючого засобу для волосся, можна запропонувати наступний склад твердого шампуню проти лупи: кокоїл ізетіонат натрію, вода, олія насіння броколі, порошок листя кропиви, порошок листя нім (*Melia Azadirachta*), бетаїн, метосульфат бегентрімонію, цетеариловий спирт, D-пантенол, молочна кислота, гідролізований протеїн пшениці, ефірна олія розмарину. Хімічна формула та призначення інгредієнтів у складі твердого шампуню наведено у таблиці.

Таблиця – Хімічна характеристика компонентів твердого шампуню

Назва	Формула	Призначення
Кокоїл ізетіонат натрію	 $C_{14}H_{27}O_5NaS$	АПАР, піноутворювач, має кондиціонуючий ефект
Олія насіння броколі	Основні компоненти: ерукова кислота – $C_{22}H_{42}O_2$; олеїнова кислота – $C_{18}H_{34}O_2$; лінолева кислота – $C_{18}H_{32}O_2$ та інші жирні кислоти	Зміцнює та покращує структуру волосся, сприяє його росту
Порошок листя кропиви	Основні речовини в порошку з кропиви: хлорофіл a – $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$; хлорофіл b – $C_{55}H_{70}MgN_4O_6$; карбонові кислоти (фолієва кислота – $C_{19}H_{19}N_7O_6$); вітамін С – $C_6H_8O_6$	Протизапальна та зміцнююча дія, корегує виділення жиру, антиоксидант
Порошок листя нім (маргози)	Основні активні компоненти: азадірахтин – $C_{35}H_{44}O_{16}$; німбін – $C_{30}H_{36}O_9$; німбідін – складний комплекс терпеноїдів; кверцетин (флавоноїд) – $C_{15}H_{10}O_7$	Антисептичний та протизапальний засіб, антиоксидант, допомагає при екземі, лупі, псоріазі та дерматитах
Метосульфат бегентрімонію	 $C_{26}H_{57}NO_4S$	Катіонний сурфактант, антистатик, кондиціонуюча та пом'якшуюча добавка
Цетеариловий спирт	 $C_{16}H_{33}OH$	Емульгатор, стабілізатор. Створює захисний бар'єр на шкірі, запобігає втраті вологи
Гідролізований протеїн пшениці	Суміш амінокислот і пептидів, що отримуються шляхом розщеплення білків пшениці. За умовною	Зміцнює та живить волосся, зменшує

	загальною формулою, їх можна подати у вигляді: $C_{50}H_{80}O_{20}N_{10}S$	ламкість, вологоутримувач
Декспантенол	$C_9H_{19}NO_4$	Зволожує, захищає ліпідний бар'єр, зменшує подразнення шкіри, знижує свербіж
Ефірна олія розмарину	Розмаринова кислота (2-5%), цинеол, борнеол, камфора і пінен; дубильні речовини і флавоноїди.	Антиоксидант, має антисептичні та протизапальні властивості
Молочна кислота	$C_3H_6O_3$	Регулятор pH, м'який пілінг та очищення шкіри голови

Висновки. Розроблено рецептуру твердого шампуню, завданням якого є боротьба з лупою, відновлення природного механізму захисту шкіри голови від бактерій, зменшення запалення та відновлення здоров'я волосся. Головними перевагами твердого шампуню є: концентрована формула, компактність, екологічність та економічність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Williams D. F., Schmitt W. H. Chemistry and Technology of the Cosmetics and Toiletries Industry. 2009. 411. ISBN-13:978-94-0 10-7194-9 DOI: 10.1007/978-94-009-1555-8

УДК 621.9.06

РОЗРОБКА ВИРОБІВ ІНДУСТРІЇ МОДИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТРИВИМІРНОГО СКАНУВАННЯ

Чекерес Ю.С., Первая Н.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

Провідне місце за властивостями, що сприяє процесу отримання об'єктивних розмірних ознак, посідає 3D-сканування - інноваційний процес, що дозволяє створювати точні тривимірні моделі реальних об'єктів з високим ступенем деталізації, отримувати інформацію про поверхні, форми, кольори об'єкта в комп'ютерному, математичному, а також цифровому виглядах. Це обумовлює необхідність обґрунтування доцільності використання комп'ютерної техніки і цифрових технологій у процесі отримання розмірних ознак, а також визначення критеріїв оптимального вибору використовуваних 3D-приладів, у відповідності до очікуваних результату у процесі експлуатації.

3D-сканер – це пристрій, призначений для аналізу об'єкта чи середовища реального світу, збору інформації про їх форму, колір, особливості поверхні та, як результат, побудови тривимірної моделі з отриманих даних. Головною відмінністю від звичайного сканера є те, що технології 3D-сканування працюють із трьома координатними осями та дозволяють збирати дані в контексті тривимірного простору [1].

Процес отримання даних 3D-сканером нагадує формування об'ємного зображення побаченого в мозку людини. Для цього 3D-сканер порівнює два зображення, зміщених одна відносно одної. Точність побудови 3D-моделі досягається за рахунок застосування додаткових технологічних прийомів, таких як періодичний спалах або підсвічування лазером. Якщо справа стосується точності сканування, та вона залежить як від конкретного пристрою, так і від характеристик вихідного виробу. Тому цілком реально провести 3D-сканування об'єктів від 1 см (з усіма дрібними деталями), максимальні

габарити не обмежені. Для досягнення найкращої деталізації по завершенню процесу 3D-сканування, 3D-модель може піддаватися додатковій доробці фахівцем. Таким чином, завдяки 3D-скануванню об'єктів цифрові моделі виходять практично бездоганними. Похибка для 3D-сканування об'єктів з площею поверхні від 100 см² становить 1 мм і може бути усунена при подальшій доробці фахівцем. [2].

Одним із найважливіших напрямків використання можливостей 3D-сканерів є перевірка точності виготовлення деталі. Для цього так само проводять сканування поверхонь деталі та визначають ступінь відхилення реальних розмірів від базових, тим самим визначаючи точність виробу Виділяють два основні методи тривимірного сканування:

1. Контактний. Пристрій зондує предмет за допомогою фізичного контакту, поки об’єкт знаходиться на прецизійній повірочній плиті. Контактний 3D сканер відрізняється надточністю роботи. Проте, при скануванні можна пошкодити або змінити форму об’єкта
2. Безконтактний. Застосовується випромінювання або особливий світ (ультразвук, рентгенівські промені). В даному випадку предмет сканується через відображення світлового потоку [3].

У легкій промисловості застосовуються різні типи 3D-сканерів, які забезпечують точне вимірювання параметрів людського тіла, створення персоналізованого одягу та контроль якості виробів. Основні типи сканерів:

- **Фотограмметричні сканери** – аналізують зображення, отримані з декількох камер, для створення 3D-моделей. Вони широко використовуються в текстильній і модній індустрії для виготовлення одягу на замовлення.
- **Структуровані світлові сканери** – дозволяють проводити високоточні вимірювання людського тіла та створювати персоналізований одяг. Наприклад, Canfield Vectra XT застосовується у пластичній хірургії, а Fit3D Proscanner – у фітнес-індустрії .
- **Панорамні 3D-сканери** – забезпечують швидке сканування людей, що є важливим для індустрії моди та розваг. Наприклад, Texel Portal MX використовується для медичних і рекламних цілей.
- **Лазерні 3D-сканери** – застосовуються в автомобільній промисловості та контролі якості виробів у легкій промисловості, дозволяючи точно оцінити відповідність продукції технічним вимогам.
- **Кабіни 3D-сканування** – стаціонарні або портативні пристрої, які забезпечують повне сканування тіла людини, що використовується для створення одягу, ортопедичних виробів та інших персоналізованих продуктів. Наприклад, система 3dMDbody System здатна сканувати до 4 людей за хвилину. [4].

Висновки. Встановлено, що 3D-сканування є провідною технологією для створення точних цифрових моделей об’єктів із високою деталізацією. Воно дозволяє аналізувати форму, колір, поверхню виробів та контролювати точність виготовлення деталей за допомогою контактних і безконтактних методів. У легкій промисловості 3D-сканери використовуються для персоналізації одягу, контролю якості та впровадження віртуальних примірочних. Різні типи приладів забезпечують широкі можливості їх застосування в моді, медицині, виробництві та інших галузях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк О. Н., Чан А. Л. В., Панфілова Ю. О. Аналіз 3D-сканерів. Вінниця : ВНТУ, 2019.
2. Іванов С. В., Олійник П. Б. Застосування тривимірного сканування для контролю деталей машин. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2024. Т. 1, № 106. URL: http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/307897 (дата звернення: 11.11.2024).
3. Гривюк О. Технології 3D сканування. *Інформаційно-комп'ютерні технології*. 2018. № 9. С. 242–245. URL: http://eprints.zu.edu.ua/26995/1/%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B2%D1%8E%D0%BA%20%D0%9E..pdf(дата звернення: 11.11.2024).
4. На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація : монографія / за заг. ред. С. В. Котлика. Одеса : Астропринт, 2021. 336 с.

УДК 687.05:620.92

МОДЕЛЮВАННЯ В SOLIDWORKS MOTION ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОВКИ ПЛОСКОШОВНОЇ ШВЕЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДА

Манойленко О.П., Горобець В.А.
Київський національний університет технологій та дизайну

В зв'язку з неухильним здороженням енергоресурсів питання зменшення енергозатрат швейного обладнання є нагальною проблемою.

Сучасні швейні машини порівняно з аналогічним обладнанням минулих десятиліть мають значно кращі динамічні характеристики. Це досягалось завдяки скороченню кінематичних ланцюгів основних механізмів за рахунок застосування крокових двигунів, зменшенню маси ланок механізмів шляхом використання для їх виготовлення легких сплавів, оптимізації їх форми тощо.

Однак незважаючи на це, потужність індивідуальних електроприводів сучасних швейних машин залишається незмінною (0,4-0,75 кВт).

Кардинально зменшити енергозатрати швейного обладнання (до 70%) вдалось шляхом застосування сервоприводів [1], які забезпечують роботу електродвигунів тільки під час безпосередньо виконання машиною строчки та точне позиціювання її робочих органів після зупинки. Але потужність самих сервомоторів при цьому навіть збільшилась, як правило нижня межа її 0,55 кВт, а верхня – понад 1 кВт. Це пояснюється наявністю в сервоприводі додаткової передачі (редуктора).

Крім того при виборі типу та потужності сервопривода недостатньо враховуються динамічні показники головки машини, для якої він застосовується, в першу чергу, із-за відсутності відомостей про них.

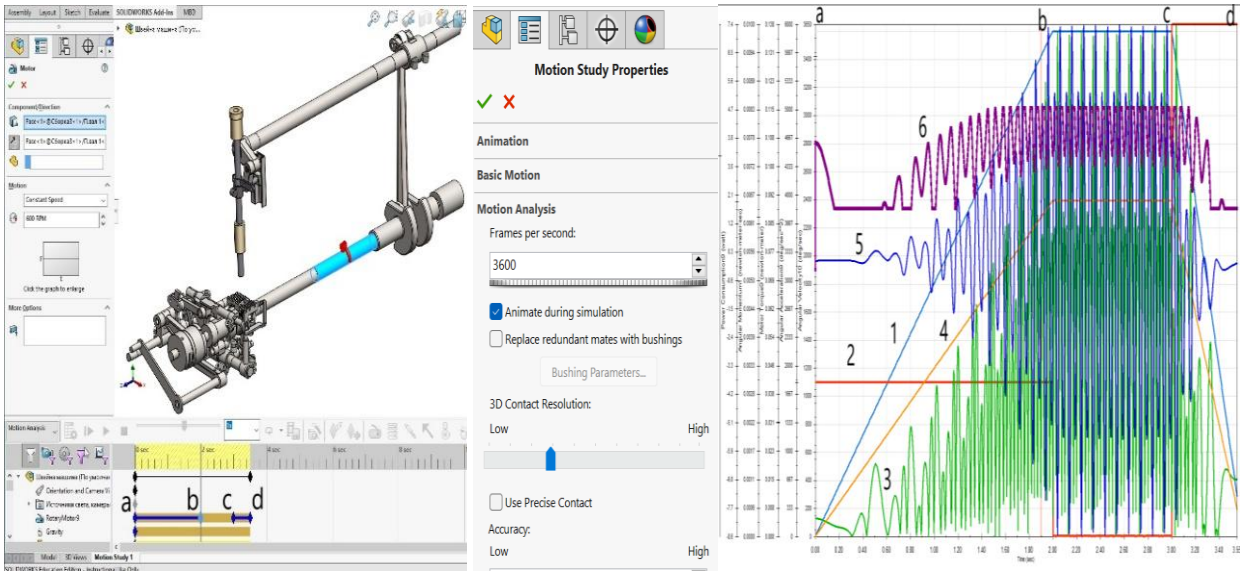
Тому для подальшого зменшення енергозатрат конкретних одиниць швейних машин необхідно, розглядаючи їх як складні мехатронні системи: електропривод – головка швейної машини, визначити динамічні характеристики головки, значення яких необхідно враховувати для визначення потужності електропривода системи, або оптимізації його параметрів. Крім того ці значення можуть служити вихідними даними для оптимізації параметрів механізмів самої головки.

Вихідними даними для визначення потужності двигуна електропривода, яка характеризується значеннями його статичного та динамічного моменту є моменти опору механічної частини самого електропривода та механічної системи, яку він приводить до руху, тобто головки останнього є визначальним.

В свою чергу він визначається моментам інерції системи, приведеним до головного вала.

Авторами проведено визначення вказаного параметра для головки типової плоскошовної швейної машини шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі Solid Works Motion при її холостому ході (рис. 1) с подальшою перевіркою отриманих результатів експериментально. В отриманій 3-D моделі були враховані геометричні параметри ланок кожного механізму, їх масу, то всі параметри фізичного контакту між ними.

Оскільки приведений момент інерційних сил опору можна визначати лише при перехідних процесах, тобто за умови, коли кутове прискорення системи не дорівнює нулю, то в анімаційній системі було передбачено 3 режими імітації холостого ходу машини (рис. 1, а): a-в – вихід на максимальну швидкість головного вала (і час розгону t=8c) b-c рівномірний рух головного валу (час сталого руху t=1c) c-d – зупинка (час гальмування t=0,5c). Дослідження виконували при частоті обертання n = 600 об/хв; кількість кадрів встановлювали відповідно до частоти обертання та вимог дискретного аналізу з кроком 1° повороту головного вала. Налаштування задавали в меню «Параметри досліджень» (рис. 1, б). Отримані результати приведені на рис. 1, в (крива 1-6).



а б в

1 - графік кутової швидкості головного вала ω(φ), $с^{-1}$;
2 -графік кутового прискорення головного вала ε(φ), $с^{-2}$;
3 - графік моменту опору, приведеного до головного вала, $M_eq(φ)$, Н·м;
4 - графік кінетичної енергії, приведеної до головного вала, $E_eq(φ)$, Дж;
5 - графік потужності, приведеної до головного вала, $N_eq(φ)$, Вт;
6 - графік моменту інерції, приведеного до головного вала, $J_eq(φ)$, кг·$м^2$.

Рисунок 1 – 3D-модель головки плоскошовної швейної машини ланцюгового стібка: а — параметри режиму руху; б — установлення параметрів у менеджері «Параметри досліджень»; в — кінематичні та динамічні характеристики головного вала машини

Для перевірки адекватності розробленої комп'ютерної моделі було проведено також експериментальне визначення моменту інерції, приведень до головного валу, резонанснім методам на спеціальній експериментальній установці, створеній на кафедрі механічної інженерії КНУТД [2].

Порівняння отриманих результатів показали, що максимальна похибка даних, отриманих комп'ютерним моделюванням та експериментально, не перевищує 5%.

Висновки: 1. Врахування динамічних характеристик головки швейної машини при підбиранні чи проектуванні її електропривода буде сприяти подальшому збільшенню енергоефективності цієї мехатронної системи.

2. Експериментальне підтвердження адекватності результатів динамічних характеристик головки швейної машини, отриманих методом комп'ютерного моделювання, доводить його ефективність..

ЛІТЕРАТУРА

1. Nemeša I. Energy saving motors for sewing machines // Tekstilna industrija. – 2023. – Vol. 70, № 1. – С. 39-43.

Дзюба В. І., Орловський Б. В., Куришко І. І. Спосіб визначення моменту інерції механізму швейної машини, приведеного до головного вала : авторське свідоцтво № 1666929 А1. – Опубл. 30 липня 1991 р. – Бюл. № 28.

УДК 687.05:678.067

ДО ПИТАННЯ НАСКРІЗНОГО АРМУВАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ПРЕФОРМ: ШВЕЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ЗАПОБІГАННЯ ДЕЛАМІНАЦІЇ

Манойленко О.П., Безуглий Д.М.
Київський національний університет технологій та дизайну

У сучасних технологічно розвинених галузях дедалі ширше впроваджуються тривимірні (3D) каркасні текстильні матеріали, що забезпечують новий рівень міцності, жорсткості та стійкості до пошкоджень; їх застосовують у текстильній, авіаційній, космічній, автомобільній і суднобудівній промисловості, а також у засобах індивідуального захисту та БпЛА [1].

Ключова перевага – можливість формувати композиційні структури з підвищеними характеристиками завдяки об'ємній архітектурі волокон у трьох ортогональних напрямках, що підвищує стійкість до розшарування. На цьому тлі актуалізується наскрізне швейне армування як технологічно доступний та гнучкий інструмент локального підсилення під час допрацювання преформ у зонах концентрації міжшарових напружень (вигини, переходи шарів, отвори, крайові ділянки, стики) (рис. 1) [2-6].

Літературні дані свідчать, що наскрізне прошивання адресно вирівнює розподіл напружень по товщині та обмежує розвиток деламінацій [7-9], однак потребує параметризації процесу: тип стібка (301, 101, 401), довжина стібка - t, товщина пакета - m, натяг/подача нитки. Показано, що зменшення t частково нівелює пошкодження шару, спричинені проколом, але потребує контролю [10-12]; окремі прошиті 3D-композити демонструють зменшення міцності при згині (~22 %) і жорсткості (~19 %) порівняно з 2D-ламінатами [9], водночас зберігаючи високу міжшарову тріщиностійкість [7, 8].

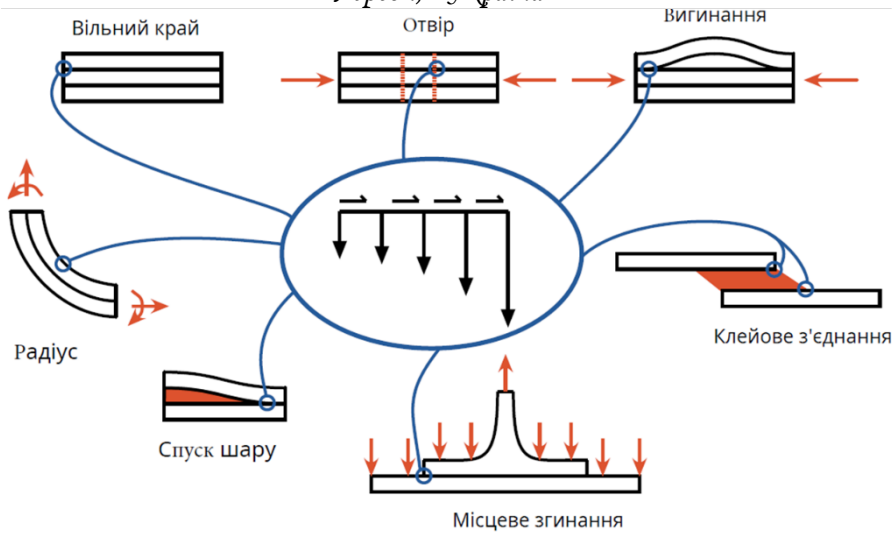


Рисунок 1 – Проблеми, які вирішують швейні технології при армуванні елементів преформ [2]

Огляд [13] систематизує 3D-тканини та швейні способи їх формування, однак брак кількісної й якісної оцінки ускладнює практичну верифікацію; у [14] подано схему механізму розшарування і варіанти стібків (301, 101, 401), але без порівняння ефективності ниткових з'єднань. Для подальшої параметризації та аналізу доцільно спиратися на МСЕ/мікромеханіку [15], об'єктно-орієнтоване проєктування швейних машин [16, 17], топологію машинних стібків [18] як основу каркасних структур, диференціально-геометричні моделі формоутворення з урахуванням релаксації й ковзання ниток [19, 20], моделі тертя у зонах з'єднання [21, 22], поєднання експерименту з МСЕ [23] та мікромеханічне моделювання 3D-структур із повторюваною геометрією волокон [24], а також урахування в'язко-пружних властивостей тканин при циклічних навантаженнях. Практично досяжні межі: локальне підсилення рельєфних поверхонь малої товщини (~0–8 мм) на типових машинах із застосуванням ланцюгових(зокрема однониткового типу 101), або модифікованих човникових стібків, а робота з більшими товщинами – на спеціалізованому обладнанні.

Для впровадження у виробництво доцільно дотримуватися такої послідовності: попередньо оцінити напружено-деформований стан конструкції (МСЕ/експерименти), визначити зони підсилення, обрати класифікаційний тип стібка (ISO 4915) та налаштувати довжину стібка t і натяг нитки, виконати верифікаційні випробування на зразках з обов'язковою фіксацією параметрів шва; далі – уніфікувати критерії сумісності «преформа — стібок» для серійного застосування.

Висновки. Локальне наскрізне швейне армування преформ у зонах концентрації міжшарових напружень є доцільним для запобігання деламінації та забезпечення цілісності композитних виробів. Ефективність підсилення та технологічність процесу визначаються класифікаційним типом стібка (ISO 4915: 101/301/401), довжиною стібка t, товщиною пакета m та величиною зусилля натягу нитки. Зменшення довжини стібка за умови контрольованого натягу сприяє зростанню опору деламінації без надмірного пошкодження матеріальних шарів. Для тонких пакетів (до ~8 мм) доцільним є використання човникових або ланцюгових стібків, тоді як для більших товщин необхідне спеціалізоване прошивне обладнання. Практична реалізація швейних технологій можлива на промислових машинах важкого типу або вишивальних автоматах– за умови роботи з порівняно невеликими товщинами пакетів матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вишняков Л. Р. Композиційні матеріали / Л. Р. Вишняков // Енциклопедія сучасної України : [Електрон. ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський,

М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. - Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2014. - Режим доступу: URL: https://esu.com.ua/article-4385.

2. Stig F., Hallström S. A modelling framework for composites containing 3D reinforcement // Composite Structures. - 2012. - Vol. 94, Iss. 9. - P. 2895-2901. - DOI: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.03.009.

3. Cox B. N., Flanagan G. Handbook of Analytical Methods for Textile Composites: [Електрон. ресурс] / B. N. Cox, G. Flanagan. - Hampton, VA : NASA Langley Research Center, 1997. - 176 p. - (NASA Contractor Report ; NASA-CR-4750). - Режим доступу: URL: https://ntrs.nasa.gov/citations/19970017583.

4. Abeysooriya R. P., Wickramasinghe G. L. D. Regression model to predict thread consumption incorporating thread-tension constraint: study on lock-stitch 301 and chain-stitch 401 // Fashion and Textiles. - 2014. - Vol. 1, No. 1. - Art. 14. - DOI: https://doi.org/10.1186/s40691-014-0014-5.

5. Rasheed A., Sheraz A., Nauman A. et al. Geometrical model to calculate the consumption of sewing thread for 504 over-edge stitch // Journal of the Textile Institute. - 2018. - Vol. 109, No. 11. - P. 1418-1423. - DOI: https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1423902.

6. Reis L. M. M., Ribeiro M. L., Madureira F. et al. Mechanical properties and failure mode of 3D stitched composites // Journal of Materials Research and Technology. - 2024. - Vol. 29. - P. 90-100. - DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.283.

7. Plain K. P., Tong L. Mode I and II fracture toughness of laminates stitched with a one-sided stitching technique // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2011. - Vol. 42, No. 2. - P. 203-210. - DOI: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.11.006.

8. Mouritz A. P. Flexural properties of stitched GRP laminates // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 1996. - Vol. 27, No. 7. - P. 525-530. - DOI: https://doi.org/10.1016/1359-835X(96)00010-3.

9. Fristedt T. Novel fiber placement technologies for composite applications // Tailored Fiber Placement. - 2012. - Режим доступу: URL: https://www.tailoredfiberplacement.com/laystitch-acce-2012.pdf.

10. Wang P., Legrand X., Soulat D. et al. Experimental and numerical analyses of manufacturing process of a composite square box part: comparison between textile reinforcement forming and surface 3D weaving // Composites Part B: Engineering. - 2015. - Vol. 78. - P. 26-34.

11. Nie J., Xu Y., Zhang L. et al. Effect of stitch spacing on mechanical properties of carbon/silicon-carbide composites // Composites Science and Technology. - 2008. - Vol. 68, No. 12. - P. 2425-2432. - DOI: https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.04.012.

12. Kaya G., Soutis C., Potluri P. Flexural behaviour of unreinforced and Z-fibre-reinforced 3D carbon/epoxy composites // Applied Composite Materials. - 2021. - DOI: https://doi.org/10.1007/s10443-021-09949-0.

13. Malik T., Parmar S. 3-D fabrics - an overview. - 2007. - Режим доступу: URL: https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1715/3-d-fabrics-an-overview.

14. Orlovsky B. V. Analysis of the use of machine stitches for creating 3D structures from polymer composite interior materials in aircraft construction // Problems of Friction and Wear. - 2019. - No. 4 (85). - P. 117-122. - DOI: https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(85).13881.

15. Karvatskii A. Ya. Finite element method in problems of mechanics of continuous media. Laboratory practicum (Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ) : навч. посіб. - Kyiv : NTUU “Igor Sikorsky KPI”, 2020. - 428 с.

16. Dzyuba V. I. Scientific basis of automated design of working processes of knitting machines. Object-oriented approach (Наукові основи автоматизованого проектування робочих процесів трикотажних машин. Об’єктно-орієнтований підхід). - Kyiv : KDUTD, 2000. - 185 с.

17. Orlovsky B. V., Tropsha D. A. Basic principles of object-oriented design of work processes and machines of light industry // Visnyk DALPU. - 2000. - No. 2. - P. 44-51.

18. Manoilenko O. Topological analysis and synthesis of machine chain stitches // Vlákna a textil (Fibres and Textiles). - 2020. - Vol. 27, No. 4. - P. 58-69. - Режим доступу: URL: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf.

19. Guyader G., Gabor A., Hamelin P. Analysis of 2D and 3D circular braiding processes: modeling the interaction between the process parameters and the pre-form architecture // Mechanism and Machine Theory. - 2013. - Vol. 69. - P. 90-104.

20. Kessels J. F. A., Akkerman R. Prediction of the yarn trajectories on complex braided preforms // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2002. - Vol. 33, No. 8. - P. 1073-1081.

21. Zhang Q., Beale D., Broughton R. M. Analysis of circular braiding process. Part 2: mechanics analysis // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1999. - Vol. 121, No. 3. - P. 351-359.

22. Zhang Q., Beale D., Broughton R. M. Analysis of circular braiding process. Part 1: theoretical investigation of kinematics // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1999. - Vol. 121, No. 3. - P. 345-350.

23. Rawal A., Potluri P., Steele C. Prediction of yarn paths in braided structures formed on a square pyramid // Journal of Industrial Textiles. - 2005. - Vol. 35, No. 2. - P. 115-135

Potluri P., Manan A. Mechanics of non-orthogonally interlaced textile composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2003. - Vol. 34. - P. 481-492.

УДК 687.05:531.78

ДОСЛІДЖЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ В ПРОЦЕСІ УТВОРЕННЯ СТІБКА ТИПУ 101

Безуглий Д.М., Манойленко О.П.
Київський національний університет технологій та дизайну

Сфера застосування швейних технологій виходить далеко за межі традиційного виробництва одягу чи галантереї. Сьогодні вони активно інтегруються у виготовлення технічного текстилю та пакувальних матеріалів, зокрема у процеси з’єднання паперових мішків чи формування армуючих текстильних преформ для композитних виробів.

Особливу увагу привертають машини ланцюгового стібка, які завдяки простішій конструкції та безперервній дії забезпечують економне використання нитки.

При зшиванні матеріалів різної товщини втрачається якість та стабільність стібка, що спричинено зміною зусилля натягу нитки на ділянках змінної товщиною.

Необхідність забезпечення якісного шва, що виключає розшарування матеріалів і гарантує правильне формування структури стібка типу 101 [1, 2]. Якість з’єднання визначається відповідністю дійсної подачі нитки $P(\varphi)$ необхідній $P'(\varphi)$, адже відхилення між ними змінюють зусилля натягу й погіршують структуру шва [3-7].

Дослідження [7] показало що вплив довжини стібка та товщини матеріалу на $P'(\varphi)$, але виявили відсутність механізмів регулювання дійсної подачі, що спричиняє розбіжності до 64 %. Це компенсують лише регулятори натягу, проте їхня ефективність обмежена. Значний масив робіт присвячено аналізу $P(\varphi)$ і $P'(\varphi)$ у човникових та багатониткових стібках [3, 4], але для стібка 101 комплексних досліджень бракує.

Таким чином, відсутність комплексних досліджень подачі нитки у стібку 101, що враховували б взаємозв’язок $P(\varphi)$ і $P'(\varphi)$, зусилля натягу, товщину матеріалу й якість шва, визначає наукову проблему. Потрібні експериментальні дослідження закономірностей

зміни натягу та їх кількісна оцінка, що стане основою для створення адаптивних механізмів подачі нитки.

Експеримент проводили на машині GK-9 з використанням нитки, встановлюючи мінімальні та максимальні параметри стібка. Після виконання пробних зразків за потреби регулювали натяг. Швидкість головного вала підтримувалась сталою — 600 об/хв (60 % від максимальної) за допомогою частотного регулятора, що забезпечувало стабільні умови.

Натяг нитки вимірювали приладом ELTENS для двох комбінацій параметрів: t = 8 мм, m = 0,4 мм та t = 14 мм, m = 8 мм. Покази зчитувалися у цифровій формі і опрацьовувалися. Для кожного режиму виконано по 10 спостережень, результати яких узагальнено в таблиці 1. Дані реєструвалися з високою частотою вибірки, а їх подальший аналіз методами дозволив побудувати графіки зміни зусилля натягу протягом циклу утворення стібка з достатньою точністю (рис. 1).

Таблиця 1

Значення максимально зусилля в процесі утворення стібка

Номер досліду	Параметри		
	t	m	F_{max}, Н
1	8	0,4	6,2
2	10	12	1,28

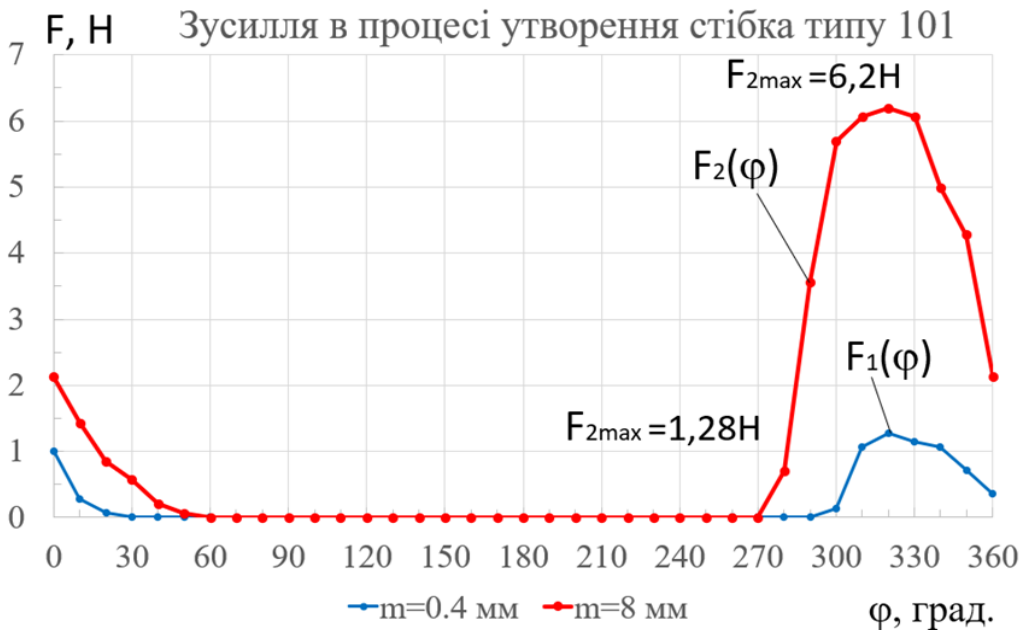


Рисунок 1 – Графіки значення зусилля натягу при максимальних і мінімальних значеннях технологічних параметрів

Висновки. Аналіз результатів вимірювання зусилля натягу нитки (табл. 1, рис. 1) дав змогу кількісно оцінити динаміку його зміни під час утворення стібка та встановити залежність від технологічних параметрів. Для мінімальних режимів (t = 8 мм, m = 0,4 мм) максимальне значення натягу становить 1,28 Н, тоді як при максимальних параметрах (t = 14 мм, m = 8 мм) воно зростає до 6,2 Н. Таким чином, збільшення товщини матеріалу

у 20 разів супроводжується п’ятикратним зростанням зусилля натягу нитки в момент затягування стібка.

ЛІТЕРАТУРА

1. DSTU ISO 4915:2015. Textile materials. Types of seams. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2016. 18 p.
2. Manoilenko O. Topological analysis and synthesis of machine chain stitches. Vlákna a textil (Fibres and Textiles). 2020. Vol. 27, № 4. P. 58–69. Available at: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf
3. Пищиков В. О., Орловський Б. В. Проектування швейних машин : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів. Київ : Формат, 2007. 320 с.
4. Манойленко О. П. Розробка механізмів подачі голкової нитки сточувальних машин ланцюгового стібка: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ : КНУТД, 2008. 24 с.
5. Midha, V.K., Gupta, V. & Mukhopadhyay, A. Impact of Positive Thread Feeding for High-Speed Industrial Lockstitch Sewing Machines: Part I Development of Device. J. Inst. Eng. India Ser. E 100, 71–79 (2019). https://doi.org/10.1007/s40034-019-00136-2
6. Guin B., Roy R. (2021). Development of an automatic thread tension adjusting device for single needle lock stitch machine. In: Advances in Industrial Machines and Mechanisms: Select Proceedings of IPROMM 2020. Springer, Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-1769-0_18
7. Манойленко О., Безуглий Д., Горобець В., Бурмістенков О. Аналітичне дослідження механізмів подачі ідеальної нитки швейних машин одноніткового ланцюгового стібка типу 101. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2025. № 3 (351), ч. 1. С. 341–349. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-43

УДК 677.46.02

ВПЛИВ ПОЛІСАХАРИДІВ НА МОЖЛИВІСТЬ ВОЛОКНОУТВОРЕННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОФОРМУВАННЯ

Ляшок І.О., Крюкова О.А., Барков Д.Д., Ковальський В.М., Сікора А.С.
Київський національний університет технологій та дизайну

Електроформування, як метод формування волокон (ЕФВ) з полімерних розчинів або розплавів під дією постійного струму високої напруги, застосовується для отримання ультратонких волокон та нановолокнистих матеріалів [1, 2].

Актуальним є дослідження закономірностей отримання волокон нанометрового діапазону з різних полімерів та їх сумішей способом електроформування і визначення областей їх застосування.

Технологія електроформування дозволяє отримувати нові волокна з керованою пористою структурою. Відомо, що цим методом успішно переробляють синтетичні полімери, полілактид, полігліколеву кислоту, полікапролактон, полідиоксанон, полівінілпіролідон, полістирол. Також для електроформування використовується широкий спектр природних полімерів, включаючи колаген, еластин, шовк та фібриноген, а також суміші природних та біосумісних синтетичних полімерів.

Електроформування надає широкі можливості для створення функціональних матеріалів з полівінілового спирту (ПВС) для різних високотехнологічних застосувань. Для надання таким матеріалам функціональності у полімерну композицію вводять

синтетичні та природні активні інгредієнти. Використання рослинних екстрактів, є нетоксичним і не має побічних ефектів [3-5].

Метою роботи було встановити вплив полісахаридів на можливість волокноутворення методом електроформування з розчинів на основі ПВС з додаванням водних екстрактів ромашки лікарської *Matricaria chamomilla* та кропиви дводомної *Urtica dioica.*

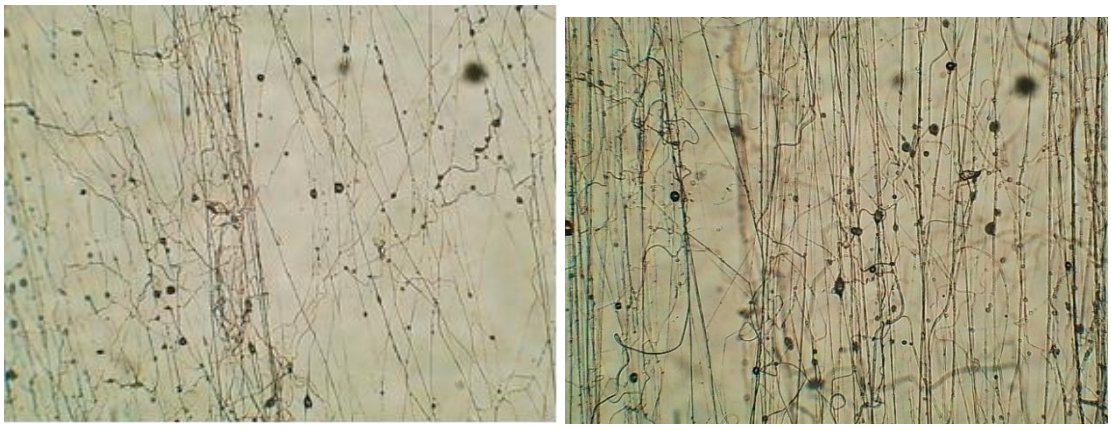
На основі водних екстрактів лікарської ромашки *Matricaria chamomilla* та кропиви дводомної *Urtica dioica* були приготовані розчини 10% ПВС, 10% картопляного крохмалю (Кр) та 5% карбокиметильованого крохмалю (КМК) та отримані композиції шляхом змішування ПВС/Кр та ПВС/КМК у співвідношенні 1/1.

Отримання нетканих матеріалів методом електроформування здійснювали на лабораторній установці капілярного типу з напругою 30 кВ, діаметром капіляра 0,6 мм та відстанню між електродами 16 см.

Встановлено, що розчини основі ПВС, ПВС/Кр з додаванням водних екстрактів ромашки лікарської *Matricaria chamomilla* та кропиви дводомної *Urtica dioica* формуються з утворенням нетканого матеріалу (Рис 1, 2). Для композицій ПВС/КМК волокноутворення під дією електричного струму не відбувається.

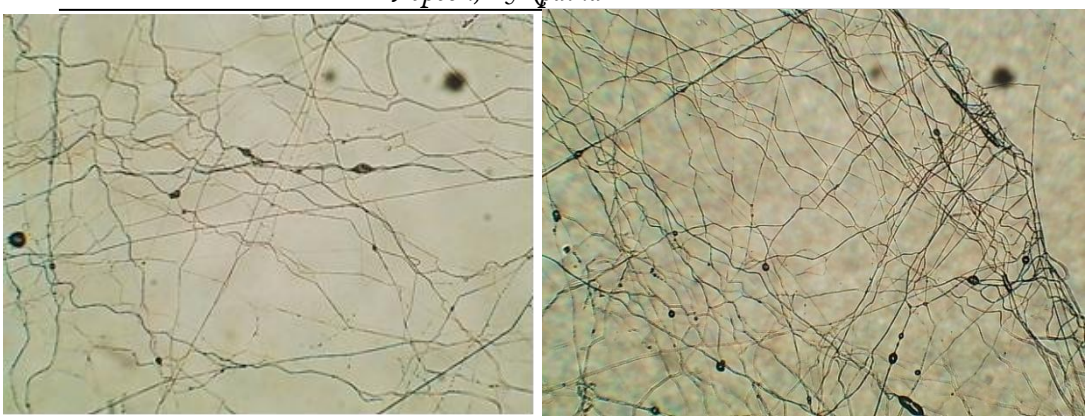
Для волокон отриманих з композицій ПВС та ПВС/Кр з додаванням водного екстракту ромашки лікарської *Matricaria chamomilla* характерна наявність бісероподібних включень. Можливо це пов’язано з низькою в’язкістю полімерного розчину, через що створюється нестабільність струменя.

Для волокон отриманих з композицій ПВС та ПВС/Кр з додаванням водного екстракту кропиви дводомної *Urtica dioica* характерна гладка рівномірна структура, що свідчить про можливість отримання високоякісних волокнистих матеріалів методом електроформування.



а б

Рисунок 1 – Мікрофотографії нетканих матеріалів, отриманих методом електроформування з розчинів ПВС (а) та ПВС/Кр (б) з додаванням водного екстракту ромашки лікарської *Matricaria chamomilla*



а б

Рисунок 2 – Мікрофотографії нетканих матеріалів, отриманих методом електроформування з розчинів ПВС (а) та ПВС/Кр (б) з додаванням водного екстракту кропиви дводомної *Urtica dioica*

Висновки. В роботі було встановлено можливість отримання нетканих волокнистих матеріалів методом електроформування на лабораторній установці капілярного типу з напругою на електродах 30 кВ, та відстанню між ними 16 см з розчинів на основі ПВС та ПВС/Кр з додаванням водних екстрактів ромашки лікарської *Matricaria chamomilla* та кропиви дводомної *Urtica dioica.*

ЛІТЕРАТУРА

6. Reneker D. H., Chun I. Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning // Nanotechnology. 1996. Vol. 7, Issue 3. P. 216–223. doi: http://doi.org/10.1088/0957-4484/7/3/009 .
7. Effects of parameters on nanofiber diameter determined from electrospinning model / Thompson C. J. et. al. // Polymer. 2007. Vol. 48, Issue 23. P. 6913–6922. doi: http://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.09.017.
8. НікітінаО.О., Робак А.Ю., Циба Д.С. Інноваційні підходи до використання лікарських рослин у сучасній фармацевтиці. Технології та інжиніринг. 2024. N° 3 (20). С. 110–126. doi:https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.3.9.
9. Ляшок І.О., Крюкова О.А., Кичужинець М.С, Швець В.В., Галаган В.В, Стаднік Д.В. Фізичні властивості гідрогелів та плівок пвс на основі водного екстракту кропиви дводомної. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2024. – №5. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-61
10. Ляшок І.О., Плаван В.П., Крюкова О.А., Полушкін М.М., Швець В.В., Шаповалова Я.С. Вплив полісахаридів на фізичні властивості плівок та гідрогелів ПВС на основі водного екстракту ромашки лікарської (Matricaria Chamomilla) // Вісник КНУТД. Технології та інжиніринг №5(22), 2024, с.101-109. https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.5.10

УДК 687.05:678.067

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ СТІБКА ТИПУ 101 НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

Безуглий Д.М., Соловчук Є.О., Манойленко О.П.
Київський національний університет технологій та дизайну

Сучасне виробництво композитних матеріалів потребує ефективних технологій наскрізного армування багатошарових текстильних преформ [1]. Одним із перспективних рішень є застосування швейних технологій на базі однониткового ланцюгового стібка, що забезпечує з'єднання шарів та підвищує механічні характеристики конструкцій.

З метою обґрунтування та впровадження технологій наскрізного армування у виробництво доцільним є застосування об'єктно-орієнтованого аналізу (object-oriented

analysis, OOA) [2–4], який у межах системного аналізу складних механіко-технологічних систем забезпечує формалізовану систематизацію «обов'язків» та «делегування» функцій робочих органів швейної машини у процесі утворення стібка типу 101 [5, 6]. Такий підхід дозволяє описати структуру об'єкта як ієрархію взаємопов'язаних компонентів та створити підґрунтя для математичного моделювання процесів у CAD/CAE/CAM-середовищах.

У межах цього підходу взаємодія механізмів описується через діаду «обов'язки – делегування (успадкування)», що дає змогу моделювати функціональні зв'язки та визначати раціональну структуру механіко-технологічної системи. Формування 3D-тканини у такій постановці розглядається як проєктування циклограми швейної машини з урахуванням узгодженої роботи її функціональних механізмів і варіативності технологічних параметрів ниткового з'єднання.

Для утворення однониткового ланцюгового стібка типу 101 (рис. 1) із застосуванням розширювача, що виконує просторовий рух, використовуються такі робочі органи: голка 1, розширювач 2, ниткоподавач 3, зубчата рейка 4, притискна лапка 5, голкова пластина 6, регулятор натягу нитки 7.

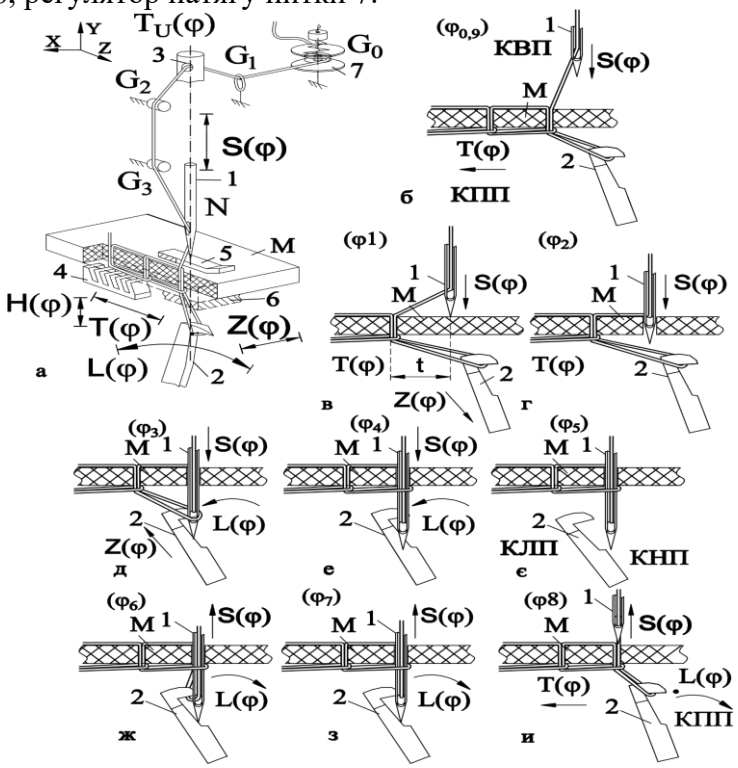


Рисунок 1 – Характерні моменти процесу утворення стібка типу 101

Рух кожного робочого органа описується функціями складових його положення:

$$f(\varphi)=fx(\varphi)+fy(\varphi)+fz(\varphi), \quad (1)$$

де: fx(φ),fy(φ),fz(φ) – складові руху відповідно вздовж осей X (горизонтальна), Y (вертикальна) та Z (поперечна).

Функції положень робочих органів процесу утворення стібка типу 101:

S(φ) – положення голки;
Tui(φ) – положення *i*-го ниткоподавача;
T(φ), H(φ) – горизонтальна та вертикальна складові положення зубчастої рейки;
L(φ), Z(φ) – горизонтальна та поперечна складові положення розширювача.

Основні петлетворні робочі органи (голка, розширювач) забезпечують стійкість процесу утворення стібка, тоді як інші органи забезпечують стабільність процесу переміщення та якість формування ниткового з'єднання. Узагальнені «обов'язки» об'єктів механіко-технологічної системи подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Об'єктно-орієнтована модель функцій робочих органів при утворенні стібка

«Об'єкт (функція)»	«Обов'язки»	«Делегування»
Голка (S(φ))	–проколювання матеріалу; – проведення нитки в зону формування петлі; – «закол» попередньої петлі; – утворення «петлі-напуску».	Розширювачу, ниткоподавачу та зубчатій рейці згідно з періодами циклограми
Розширювач (L(φ), Z(φ))	– захоплення «петлі-напуску»; – розширення петлі нитки та утворення «ниткового трикутника»; – забезпечення переплетення петель нитки.	Ниткоподавачу та зубчатій рейці
Ниткоподавач(і) ($Tu_i(φ)$)	– подача необхідної довжини нитки голці та розширювачу; – скорочення петель, регулювання зусилля натягу; – стабілізація формування «петлі-напуску»; – затягування стібка; – змотування нитки з бобіни.	Зубчатій рейці для переміщення матеріалу
Зубчата рейка (T(φ), H(φ))	– переміщення матеріалу після завершення стібка; – узгодження руху з положенням голки та ниткоподавача.	Притискній лапці
Притискна лапка	– фіксація матеріалу під час проколювання; – утримання матеріалу при переміщенні.	Регулятору натягу нитки (поза процесом формування стібка)
Голкова пластина	– сприяння формуванню петлі завдяки геометрії отвору; – розмежування зон руху зубчатої рейки (робочий/холостий хід).	Притискній лапці, зубчатій рейці та зшивним матеріалам
Регулятор натягу нитки	– контроль зусилля натягу в «загальному контурі подачі нитки»; – забезпечення стабільного натягу нитки відповідно до зусилля затягування стібка.	Нитці у момент подачі довжини для формування наступних і+1 стібків

З аналізу таблиці «обов'язків» та «делегування» функцій робочих органів у процесі утворення стібка типу 101 видно, що кожен елемент виконує конкретні дії, спрямовані на формування «петлі-напуску», її захоплення та розширення, «закол» попередньої петлі нитки, переміщення матеріалу на довжину стібка та затягування нитки. Водночас виявлено нерівномірність у розподілі функцій між об'єктами, зокрема відсутність делегування функцій подачі нитки від механізмів притискної лапки та зубчастої рейки. Це свідчить, що зазначені елементи лише частково беруть участь у процесі формування стібка і не забезпечують повної узгодженості впливу на параметри подачі нитки залежно від технологічних умов.

Відсутність такого делегування порушує логіку технологічного процесу при зміні товщини матеріалу m та довжини стібка t. У результаті механіко-технологічна система втрачає адаптивність до зшивання багатошарових текстильних матеріалів, що призводить

до нестабільності затягування, можливих дефектів шва та зниження загальної якості сформованого ниткового з'єднання.

Висновки. Проведений об'єктно-орієнтований аналіз підтверджує доцільність побудови об'єктно-орієнтованої моделі з узгодженим делегуванням функцій керування механізмами подачі нитки залежно від поточних значень t і m. Такий підхід дозволяє:

1. Забезпечити стабільність і однорідність процесу формування стібка під час армування багатошарових текстильних структур;
2. Підвищити якість шва завдяки адаптивному регулюванню параметрів у реальних умовах;
3. Інтегрувати розроблену модель у CAD/CAE/CAM-системи, що відкриває можливості віртуального прототипування та автоматизованого синтезу конструкцій;
4. Створити основу для розроблення інтелектуальних систем керування та оптимізації механізмів утворення стібків.

Таким чином, об'єктно-орієнтований підхід не лише систематизує взаємодію робочих органів у вигляді «обов'язків – делегування», але й підкреслює значення системного аналізу та математичного моделювання, відкриваючи перспективи застосування методів комп'ютерного інжинірингу для удосконалення швейних технологій.

ЛІТЕРАТУРА

11. Безуглий Д. М., Манойленко О. П. Технологічні процеси створення 3D каркасних конструкцій пресформ на базі швейних технологій // Мехатронні системи: інновації та інженерінг : тези доп. 7-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 2023 р., Київ. - Київ : КНУТД, 2023. - С. 132-133. - URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/26014/1/MSIE_2023_P132-133.pdf

12. Orlovsky, B.V., Manoilenko, O.P., Bezuhlyi, D.M. (2023). Object-Oriented Analysis of Frame 3D Textile Structures. Journal of Engineering Sciences (Ukraine), 10(2), 26-C35. DOI: https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).c4

13. Orlovsky B. V. Analysis of the use of machine stitches for creating 3D structures from polymer composite interior materials in aircraft construction // Problems of Friction and Wear. - 2019. - No. 4 (85). - P. 117-122. - DOI: https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(85).13881.

14. Orlovsky B. V., Tropsha D. A. Basic principles of object-oriented design of work processes and machines of light industry // Visnyk DALPU. - 2000. - No. 2. - P. 44-51.

15. Manoilenko O. Topological analysis and synthesis of machine chain stitches // Vlákna a textil (Fibres and Textiles). - 2020. - Vol. 27, No. 4. - P. 58-69. - Режим доступу: URL: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf.

16. DSTU ISO 4915:2015. Textile materials - Types of seams : Національний стандарт України. - Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. - 24 с.

УДК 677.07

ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНИХ ЛІНІЙ У СПОРТИВНИХ ЛОГОТИПАХ

Лихопуд А. С., Дзикович Т.А.
Київський національний університет технологій та дизайну

У сфері візуальних комунікацій для спортивних брендів можливість логотипу передавати рух, силу та енергію має велике значення. Дизайнери досягають цього,

використовуючи динамічні лінії – графічні елементи, які візуально викликають відчуття швидкості, розвитку та конкуренції. Дослідження ролі таких ліній є ключовим для розуміння психологічного впливу логотипів на глядача та формування ідентичності бренду [1].

Мета: проаналізувати особливості застосування динамічних ліній у спортивних логотипах та визначити їх вплив на формування образу спортивного бренду чи команди.



Рисунок 1 – Логотип «Nike»



Рисунок 2 – Логотип «Adidas»



Рисунок 3 – Логотип «Puma»



Рисунок 4 – Логотип «Formula 1»



Рисунок 5 – Логотип «Динамо Київ»

Лінії, що мають нахил, вигини або діагональний напрям, здатні створювати ілюзію руху. Це особливо важливо у спорті, де ключові асоціації пов'язані з розвитком, швидкістю та перемогою.

Nike – логотип у формі «swoosh» є символом руху вперед і швидкості. Його плавна, вигнута лінія імітує крило богині Ніки, водночас нагадуючи траєкторію (рис.1) [2].

Динамічні лінії впливають на глядача, формуючи відчуття енергійності та напруги. Вони підсилюють емоційний зв'язок із брендом і стимулюють асоціації зі спортивною активністю.

Adidas (три смуги) – розташовані під кутом лінії символізують підйом угору, асоціюються з подоланням труднощів і досягненням вершин (рис.2) [3].

Сучасні спортивні логотипи комбінують динамічні лінії з мінімалізмом. Це робить символ водночас простим і легко впізнаваним, але насиченим руховими асоціаціями.

Puma – силует стрибаючої пантери побудований на основі вигнутих і спрямованих ліній, які передають стрибок і вибухову енергію (рис.3) [4].

Колір та ритмічність ліній підсилюють ефект динаміки. Контрастні кольори створюють напруженість, а зміна товщини лінії формує відчуття швидкості та траєкторії руху [5].

Formula 1 (F1) – попередній логотип поєднує чорну «F» з червоними паралельними смугами, що створюють ілюзію прискорення, перегонів і високої швидкості (рис.4) [6]. Наразі компанія має інший логотип.

Динамічні лінії дозволяють не лише підкреслити рух, а й сформувати унікальну ідентичність спортивного клубу.

Футбольний клуб «Динамо Київ» – логотип клубу побудований на основі діагональної динамічної лінії у формі ромба, всередині якого розташована стилізована літера «Д». Діагональність і нахил елементів створюють відчуття руху вперед, боротьби та спортивного характеру [7].

З розвитком цифрових технологій динамічні лінії стали надзвичайно важливими для анімованих логотипів. Анімація підсилює руховий ефект і робить брендову айдентику ще більш емоційною. ESPN Sports – у відео версії логотипу використовуються динамічні лінії, що імітують розгін, удари та зміни траєкторій, підвищуючи враження спортивної боротьби [8].

Таблиця 1 – Графічні прийоми та візуальні ефекти логотипів

Бренд / Клуб	**Графічний прийом**	**Візуальний ефект / Асоціація**
Nike	Плавна вигнута лінія «swoosh»	Рух уперед, швидкість, легкість
Adidas	Три діагональні смуги	Підйом угору, подолання труднощів
Puma	Силует стрибаючої пантери зі спрямованими лініями	Енергія, вибуховість, гнучкість
Formula 1 (F1)	Паралельні червоні смуги, що імітують прискорення	Швидкість, динаміка перегонів
Динамо Київ	Діагональний ромб і стилізована літера «Д»	Рух уперед, боротьба, стійкість
ESPN Sports	Анімовані динамічні лінії у цифрових версіях логотипів	Інтерактивність, ефект спортивної дії

Висновок: динамічні лінії у спортивних логотипах є основним елементом візуальної комунікації, що дозволяє передати рух, швидкість і силу. Вони формують емоційний зв'язок із глядачем, підсилюють ідентичність бренду та забезпечують впізнаваність у конкурентному середовищі. Приклади світових брендів, таких як Nike, Adidas, Puma та Formula 1, демонструють ефективність використання цього дизайнерського прийому. У цифрову епоху динамічні лінії набувають ще більшої актуальності завдяки можливостям анімації, що робить їх універсальним інструментом для розвитку спортивної візуальної культури.

ЛІТЕРАТУРА

5. Kolisnyk, O., Krotova, T., Hovhannisyan, S., Pshinka, N., & Osadcha, A. (2025). Creative approaches in making objects of identification for Ukrainian companies. Creativity Studies, 18(2), 339–362. URL: https://journals.vilniustech.lt/index.php/CS/article/view/17080.
6. Офіційний сайт Nike. URL: https://www.nike.com/ (дата звернення:13.09.2025).
7. Офіційний сайт Adidas. URL: https://www.adidas.ua/ (дата звернення:13.09.2025).
8. Офіційний сайт Puma. URL: https://ua.puma.com/uk/ (дата звернення:13.09.2025).
9. Mladen Milosevic Formula One. URL: https://www.designrush.com/best-designs/logo/formula-one/ (дата звернення:13.09.2025).
10. Офіційний сайт Formula 1. URL: https://www.formula1.com/ (дата звернення:13.09.2025).
11. Офіційний сайт футбольного клубу «Динамо Київ». URL: https://fcdynamo.com/ (дата звернення:13.09.2025).
12. Офіційний сайт ESPN Sports. URL: https://www.espn.com/ .

УДК 681.586:687.05:004.89

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕХАТРОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ НИТКИ У ШВЕЙНИХ МАШИНАХ З ОДНОНИТКОВИМ ЛАНЦЮГОВИМ СТІБКОМ ТИПУ 101

Безуглий Д.М., Соловчук Є.О., Манойленко О.П.
Київський національний університет технологій та дизайну

Швейні машини однониткового ланцюгового стібка типу 101 широко застосовуються у виробництві пакувальної продукції та армувальних текстильних матеріалів завдяки простоті конструкції, стабільності петлетворного процесу та еластичності утворюваних з'єднань. Проте відсутність у їхній конструкції систем адаптивного регулювання подачі нитки спричиняє нестабільність формування стібка при зміні товщини чи структури матеріалів [1].

Попередні дослідження показали, що максимальні відхилення між P(φ) і P′(φ) у машинах типу GK-9 сягають до 64 % [2]. Це викликає значні пікові зусилля (до 6,2 Н при багатошарових пакетах), які негативно впливають на однорідність і міцність шва. Для компенсації цього застосовують регулювання натягу, однак такий метод є статичним і не враховує фазової специфіки процесу утворення стібка навіть при фіксованих значення технологічних параметрах стібка t та m.

Запропонована конструкція створена на базі швейної машини GK-9-2, обладнаної енкодером головного вала з роздільною здатністю 1024 імп./об. та тензодатчиком натягу (0–10 Н), де мікропроцесорний контролер виконує обчислення за алгоритмом, виконавчим органом виступає сервопривід додаткового ниткоподавача, контрольними параметрами є довжина стібка (t = 8–14 мм) і товщина пакета (m = 0,4–8 мм), а дискретизація процесу здійснюється з кроком 2° за кутом φ, що відповідає 180 інтервалам на один оберт.

Інтеграція цих компонентів забезпечує можливість не лише слідувати еталонній подачі P′(φ), а й здійснювати активну корекцію з урахуванням динаміки процесу. На відміну від традиційних механічних регуляторів, або механізмів, мехатронна система має адаптивні властивості, що дозволяє зменшити час реакції та підвищити точність корегування функції дійсної подачі нитки P(φ) до необхідної P′(φ).

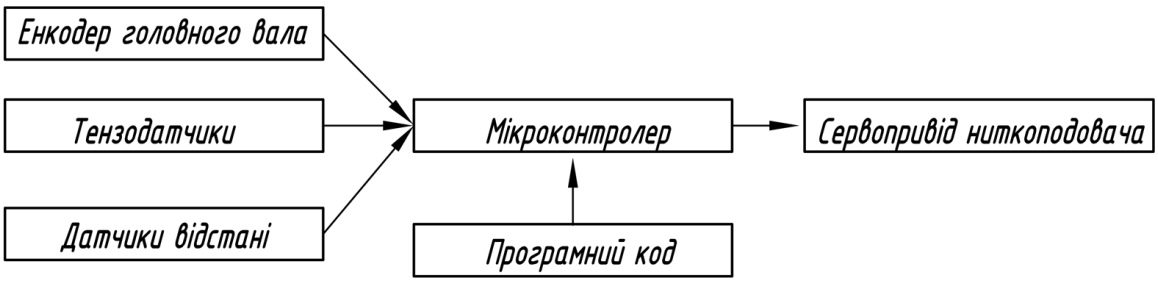


Рисунок 1 – Схема мехатронного регулювання нитки

Алгоритм регулювання з мехатронною реалізацією базується на поєднанні модельної подачі (feedforward) P′(φ, t, m) та зворотних зав'язків за подачею P(φ) і натягом F(φ). Таким чином формується еталонна функція подачі P′(φ, t, m) [3] із використанням регресійних моделей (поліном n-го порядку або табличні профілі). Команда приводу формується від умов технологічного процесу утворення стібка:

$$u(\varphi) = u_{ff}(\varphi) + u_P(\varphi) + u_F(\varphi)$$

де: $u_{ff}(\varphi)$ – модельна подача, $u_P(\varphi)$ – корекція за помилкою подачі, $u_F(\varphi)$ – фазовий контроль натягу.

Ключові періоди утворення стібка типу 101 включають:

1. В періоді φ =30–240° відбувається проведення петлі нитки крізь матеріали та утворення «петлі напуску» - головним є слідування P′(φ).
2. В періоді φ= 270–360° відбувається затягування пріоритет отримує стабілізація натягу F(φ) у межах заданих параметрів.
3. В періоді φ= 0–360° виконується логування пікових значень натягу та інтегральної похибки $u_P(\varphi)$ подачі для подальшої адаптації коефіцієнтів .



Рисунок 2 – Алгоритм автоматичного регулювання подачі нитки

Висновки. Запропонований алгоритм забезпечує комплексне регулювання подачі нитки у стібку 101, що враховує фазову специфіку процесу. В цей же час використання модельної подачі з корекцією за натягом дозволяє підвищити стабільність стібка та знизити навантаження на нитку. Отримані результати можуть бути використані при створенні нових механізмів подачі нитки з автоматизованим регулюванням у промислових швейних машинах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Манойленко О. П., Безуглий Д. М. Механізм подачі нитки швейної машини з дискретним регулюванням залежно від товщини матеріалу // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2025) : матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф., 22-23 трав. 2025 р., Чернігів. - Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2025. - Т. 1. - С. 245-246.
2. URL:https://drive.google.com/file/d/1Lg5F4lEpuJ_dOIOtouc6sNKm7frj8vvZ/view?usp=sharing
3. Манойленко О., Безуглий Д., Горобець В., Бурмістенков О. Аналітичне дослідження механізмів подачі ідеальної нитки швейних машин одноніткового ланцюгового стібка типу 101 // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2025. – № 3 (351), ч. 1. – С. 341–349. – DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-43
4. Безуглий Д. М., Манойленко О. П. Експериментальне дослідження впливу технологічних факторів стібка на функцію необхідної подачі нитки // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС -

2025) : матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф., 22-23 трав. 2025 р., Чернігів. - Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2025. - Т. 1. - С. 247-248. - URL: https://drive.google.com/file/d/1Lg5F4lEpuJ_dOIOtouc6sNKm7frj8vvZ/view?usp=sharing

СЕКЦІЯ 4
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНІЗМІВ, ВУЗЛІВ, ОСНАЩЕННЯ ВЕРСТАТІВ»

УДК 691.175.5/.8
РОЗРОБКА МІЖШАРОВИХ ГІБРИДНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мікосянчик О.О., Дубовик В.Є, Шевченко О.А., Мнацаканов С.Р., Богдан С.Ю.
Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Полімерні композиційні матеріали все частіше використовуються як замінники традиційних металевих матеріалів завдяки їхній легкій вазі, високому співвідношенню жорсткості до ваги та високому співвідношенню міцності до ваги. Інші характеристики композиційних матеріалів (КМ), такі як корозійна стійкість, відмінний профіль поверхні, підвищена стійкість до втоми, механічні характеристики та інші призвели до швидкого зростання застосування КМ [1].

З армованих пластиків конструкційного призначення в даний час найбільшого поширення набули скло- та вуглепластики. У гібридних КМ кожне з волокон забезпечує свій позитивний внесок у характеристики композиту [2].

Гібридизація є одним із ефективних методів досягнення бажаних властивостей шаруватих композитів. Гібридні композити виготовляються шляхом включення двох або більше типів волокон у шаруватий композит для досягнення покращених властивостей у порівнянні з відповідними однотипними волокнистими композитами. Гібридизація використовується для покращення в'язкості на розрив, опору втомі та зменшення загальної вартості або ваги композитних шаруватих матеріалів.

Гібридні КМ дозволяють отримувати конструкції, що мають оптимальним чином збалансовані властивості, такі, як міцність і жорсткість, вага і вартість, висока термічна стабільність, підвищена тріщиностійкість і ударна міцність [3, 4].

Метою роботи є виготовлення пластин гібридного КМ для авіаційної промисловості на основі скло- та вуглеволокон з епоксидним зв’язуючим технологією вакуумного формування.

Пластини гібридного КМ виготовлялись з волокнистих армуючих наповнювачів:

а) односпрямована вуглетканина (густина 200 г/м²), виробник SGL Group;

б) склотканина EWSF 300-1270 (густина 300 г/м²) з атласним плетінням;

в) склотканина конструкційна ровінгова STR 022-250 (густина 250 г/м²).

Розкладка шарів: 1, 8 шари – склотканина STR 022-250, 2, 7 шари - односпрямована вуглетканина, 3, 4, 5 та 6 шари – склотканина EWSF 300-1270. Кут укладання шарів: $0^0/0^0/0\text{-}90^0/\pm45^0/\pm45^0/0\text{-}90^0/0^0/0^0$.

В якості зв’язуючої суміші для гібридного КМ використовували епоксидну смолу Epoxidharz Epikote Resin MGS LR285 та затверджувач Harter Epikure Curing Agent MGS LH 286 (табл. 1) у співвідношенні при змішуванні LR285/LH 286 100 : 40.

Таблиця 1

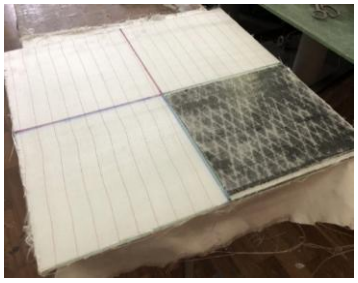
Характеристика компонентів зв’язуючої суміші

Параметри	Епоксидна смола LR285	Затверджувач LH 286
Густина, г/см³	1.18 – 1.23	0.94 – 0.97
В’язкість, мПа·с	600 – 900	60 – 100
Індекс вогнестійкості	1.525 – 1.530	1.498 – 1.502

Застосування епоксидних матриць забезпечує отримання гібридних КМ з ефективними характеристиками міцності, високими показниками водостійкості і хімічної стійкості, високою експлуатаційною надійністю і ресурсом. Епоксидну смолу Epoxidharz Epikote Resin MGS LR285 рекомендовано до застосування в КМ для класу легких повітряних суден ((European Light Aircraft) – планерів, мотопланерів та мотолітаків), човнів та суднобудування, спортивного спорядження, моделей літаків, форм та інструментів.

Послідовність технологічних операцій виготовлення пластин гібридного КМ методом вакуумного формування представлена на рис. 1.


а)


б)


в)



г)



д)


е)


ж)

Рисунок 1 – технологічний процес виготовлення гібридного КМ: а) – шаблон для порізки армуючих наповнювачів; б) – укладання шарів скло- та вуглетканини; в) – укладання дренажного склотекстоліту; г) – формування пакету зразків з дренажною трубкою; д) – формування вакуумного мішка; е) – вакуумний мішок в печі; ж) – зовнішній вигляд пластин.

Час формування гібридного КМ (до початку затвердіння), який включає викладку шарів скло- та вуглетканини, формування вакуумного мішка становить 70 хвилин. При перевірці вакуум-лінії і проведенні контролю герметичності вакуумного мішка подальша витримка пластин гібридного КМ під вакуумом становить 20 хвилин при кімнатній температурі. Надалі пластини гібридного КМ витримували в печі під вакуумом 40 хвилин при температурі 40° С та наступні 90 хвилин при температурі 60° С.

Пластини гібридного КМ виготовлені для проведення досліджень на міцністні властивості при розтягу та стиску.

Висновки. Для створення гібридного КМ з високими міцністними характеристиками при розтягу, обрано волокнисті армуючі наповнювачі у вигляді односпрямованої вуглетканини та склотканини з атласним плетінням та ровінгового типу з різним кутом укладання. В якості зв'язуючої суміші для гібридного КМ використовували епоксидну смолу LR285 та затверджувач LH 286, які рекомендовано використовувати для класу легких повітряних суден. Особливості технологічного процесу виготовлення пластин гібридного КМ методом вакуумного формування полягають в виборі розділювача, адгезійного клею, жертовної тканини, створенні вакууму та витримці пластин гібридного КМ в печі при певній температурі. Передбачувані переваги: висока міцність, оптимальна вартість, висока стійкість до удару, висока технологічність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chen L., Pang X.-J., Yu Z.-L. Study on polycarbonate/multi- walled carbon nanotubes composite produced by melt processing. *Materials Science and Engineering A*. 2007. Vol. 457. P. 287–291. https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.01.107
2. Safri S. N. A., Sultan M. T. H., Jawaid M., Jayakrishna K. Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review. Composites Part B: Engineering. *2018.* 133**.** P. 112-121. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.008
3. Sevkat E., Liaw B., Delale F. Ballistic performance of hybrid and non-hybrid composite plates. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. 2012. 47(7). P. 453-470. doi:10.1177/0309324712457897
4. Khoramishad H., Mousavi M. V. Hybrid polymer composite materials. *AIP Conf. Proc.* 2019. 2144. P. 030030 https://doi.org/10.1063/1.5123100

УДК 531.782//620.17

УДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ МАШИНИ МИП-100-2

Проценко В.О., Касян О.А.
Херсонський національний технічний університет

Розроблення нових матеріалів та виробів із них вимагає точного знання їхніх властивостей, а також впливу на них технології та режимів оброблення, які у підсумку визначають вартість виготовлення цих виробів [1].

Виконання сучасних лабораторних досліджень з механіки та матеріалознавства з використанням наявних в українських лабораторіях застарілих радянських випробувальних машин має суттєві недоліки, пов'язані з віддаленістю в конструкціях цих машин силовимірювального елемента (як правило пружини) від навантажувального пристрою і внесенням при цьому похибок вимірювання зусилля за рахунок використання

в силовимірювальному ланцюгові важільної системи за рахунок наявності тертя та зазорів у її шарнірах. Іншим недоліком є застарілість електричної частини, живлення від мережі трифазного струму в деяких випадках через важкий зовнішній блок, відсутність можливості плавного регулювання швидкості руху навантажувальної каретки.

На практиці модернізація такого обладнання виконується за кількома напрямками:

- використання штатного ланцюга силовимірювання зі встановленням резисторного давача кута повороту стрілки силовимірювача [2] без модернізації приводу навантажувача. Це дозволяє передавати результати на персональний компьютер (ПК), але не усуває впливу зазорів і тертя у шарнірах на величину виміряного зусилля та не забезпечує плавного регулювання швидкості;
- застосування тензодавачів, розташованих безпосередньо біля випробуваного зразка з передачею даних на ПК [3] без модернізації приводу навантажувача усуває вплив важільної системи, проте також не дає можливості плавно регулювати швидкість;
- застосування тензометричних силовимірювачів, розташованих безпосередньо біля випробуваного зразка та крокового електродвигуна приводу навантажувача [4].

Найбільш досконалим є останній варіант, де застосування крокового електродвигуна дає можливість плавного регулювання швидкості, проте потребує модифікації з'єднання двигуна з трансмісією машини. З огляду на це, авторами для удосконалення випробувальної машини МИП-100-2 було вибрано наступний шлях:

- застосування перетворювача частоти, що забезпечує живлення базового трифазного електродвигуна машини від однофазної мережі з можливістю плавного регулювання швидкості V (мм/хв) переміщення навантажувальної каретки за рахунок зміни частоти струму:

$$V = \frac{60f}{p}\left[1 - \frac{s}{100\%}\right]\frac{z_ч}{z_к} z_{гв} t_{гв},$$

де f – частота струму живлення двигуна, Гц; p – кількість пар полюсів обмотки електродвигуна; s – ковзання, %; $z_ч$ – кількість заходів черв'яка редуктора; $z_к$ – кількість зубців черв'ячного колеса редуктора; $z_{гв}$ – кількість заходів ходового гвинта; $t_{гв}$ – крок нарізі ходового гвинта, мм;

- електросхему приводу навантажувача передбачається удосконалити згідно рис. 1, що забезпечує можливості руху каретки навантажувача в ручному чи автоматичному режимі за кінцевими вимикачами чи програмовано від ПК;
- застосування тензометричного силовимірювача тарілчастого типу, встановленого на рухомій каретці навантажувача, що виключає вплив ваги пристосування на величину вимірюваного зусилля деформування.

Сполучення частотного перетворювача, силовимірювача та давача переміщення каретки з ПК можливе, наприклад, через інтерфейс RS485, RS232 чи подібний, дає можливість виконувати автоматизоване зчитування та запис показників, що знімаються при випробуваннях, а також навантаження зразків, що піддаються випробуванню за наперед заданою програмою з потрібною швидкістю та на потрібну величину деформації.

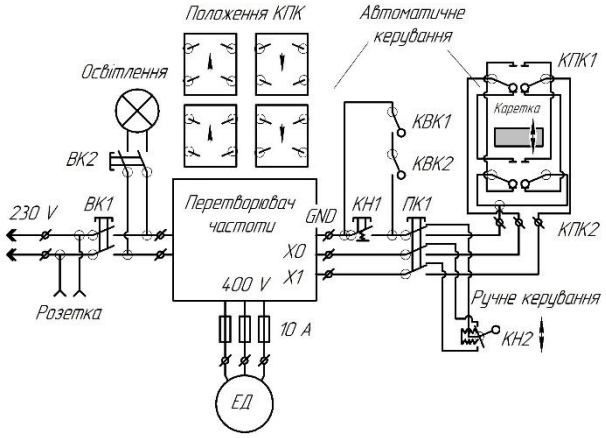


Рисунок 1 – Електросхема приводу навантажувача удосконаленої машини МИП 100-2

Висновки. За рахунок аналізу досвіду модернізації випробувальних машин радянської побудови в лабораторіях українських дослідницьких установ, запропоновано удосконалення машини для випробування пружин МИП 100-2. Привід руху навантажувача машини в пропонованому варіанті живитиметься від однофазної мережі через перетворювач частоти, що дає можливість забезпечення плавного регулювання швидкости руху каретки. Розроблена електрична схема забезпечує також рух каретки навантажувача в ручному та автоматичному режимі по кінцевих вимикачах. Передбачається застосування тензометричного силовимірювача тарілчастого типу, встановленого на рухомій каретці навантажувача. Зв'язок приводу, силовимірювача та давача переміщень з блоками індикації та виводом показників на ПК дає можливість виводити результати в режимі реального часу у вигляді таблиць чи діаграм, а також реалізувати програмне керування машиною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проценко В.О. Особливості розроблення та впровадження виробів з нових композитних матеріалів / В.О. Проценко, А.О. Касян // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2025. – №. 1 (30) – С. 118 – 131. https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.1.30.118-131

2. Мельниченко А.О. Удосконалення машини УММ-5 для визначення механічних характеристик конструкційних матеріалів / А.О. Мельниченко, М.М. Рубанка, В.П. Місяць, О.С. Поліщук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ. – 2020. – № 6 (291) – С. 93 – 100. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-291-6-93-100

3. Поднебенна С.К. Модернізація розривної машини 2167Р-50 для дослідження міцності зварних з'єднань / С.К. Поднебенна, В.В. Бурлака, С.В. Гулаков, В.Г. Кисляк // Вісник Приазовського державного технічного університету. Технічні науки. – Маріуполь: ПДТУ. – 2018. – № 36 – С. 113 – 119. https://doi.org/10.31498/2225-6733.36.2018.142532

4. Алексенко В.Л. Схемотехнічні рішення при реновації випробувального обладнання / В.Л. Алексенко, К.Ю. Юренин, Ю.Г. Татарінцева, П.П. Фостик, Г.Ю. Васильченко, Н.П. Знаменовська, Д.М. Онишко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2024. – №. 1 (28) – С. 93 – 103. https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.093-103

УДК 621.891

ВЛАСТИВОСТІ УЩІЛЬНІВАЮЧИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОРОШКІВ AL-SI-BN ДЛЯ ГАЗОТУРБІННИХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

[1]Смирнов І. В., [1]Чорний А. В., [2]Сєліверстов І. А., [2]Ляшко О. Ю., [2]Лазорик В..М., [3]Селіверстова С. Р.
[1] Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
[2] Херсонський національний технічний університет
[3] Херсонська державна морська академія

Розвиток авіадвигунобудування пов'язаний з вирішенням таких проблем, як підвищення ресурсу та коефіцієнта корисної дії газотурбінних двигунів. Окрема увага приділяється питанням герметизації турбомашин, які вирішуються застосуванням спеціальних ущільнюючих покриттів, що дозволяє значно зменшити втрати енергії та підвищити ефективність роботи двигунів, що має критичне значення для авіаційної галузі.

Для нанесення ущільнюючих покриттів газотермічними методами використовують композиційні порошки, склад яких відповідає концепції метал – тверде мастило. В якості металевого компоненту використовуються Ni, AlSi, Ni- і Co-сплави, а в якості твердого мастила використовуються графіт, гексагональний нітрид бору, бетоніт і поліестр. Склад цих комбінацій визначає температурний діапазон їхнього застосування і з умовами роботи турбіни [1].

Для отримання композиційного матеріалу використовували порошки Al (~50 мкм, чистота 99,8 %) двох типів – з округлою формою близьку до сферичної з розміром -150+100 і з витягнутою довгастою формою, у деяких частинках відношення довжини до поперечного розміру більше п’яти. Порошки Si (~1-5 мкм, чистота 97,5 %) та h-BN (~0,5-1 мкм, чистота 99,8 %). Всі порошки змішували в кульовому млині протягом 2 годин у спиртовому середовищі. Для підготовки гранул до плазмового напилення до отриманої суміші додавали 5 % бензиновий розчин синтетичного каучуку. Після змішування з пластифікатором суміш гранулювали шляхом протирання через сито з розміром комірок 50 мкм. Гранульовані порошки з метою видалення залишкової вологи сушили у вакуумній сушильній шафі за температури 70 °С протягом 3 год.

Напилення порошку здійснювалося плазмовим методом в режимі генерації ламінарного плазмового струменя, що сприяло зменшенню окислення частинок порошку під час польоту. Ламінарна течія плазмового струменя забезпечувалася спеціально розробленою конструкцією електродугового плазмотрона і технологічними режимами напилення, які встановлені в роботі [2]. У цьому плазмотроні, завдяки окремо виготовленому анодному блоку, дуга не стискалася, а плазмовий струмінь формувався шляхом обдування концентричними потоками обтискного і захисного газу аргону. Струм дуги встановлювався в межах 80-90 А, при напрузі 30-35 В, витрата порошку становила 4 кг/год при сумарній витраті плазмоутворюючого, транспортуючого і захисного газу (аргону) 5 л/хв. Завдяки таким конструктивним особливостям і технологічним режимам характер течії плазмового струменя був близький до ламінарного з числом Рейнольдса Re≈300, що забезпечувало захист компонентів порошку від окислення і сприятливі умови для формування покриття.

Після нанесення покриттів були проведені дослідження хімічного складу, пористості і твердості на перерізах покриттів. Товщина покриття з порошку округлої форми (І типу)

складає 500±50 μm , товщина покриття на основі порошку з витягнутою формою (II типу) складає 300±50 μm .

За результатами енергодисперсійної спектроскопії встановлено, що, елементний склад напилених покриттів відрізняється від вихідних порошків. Склад визначали тільки по основним елементам (алюмінію, кремнію та кисню). В результаті напилення порошку I типу відбувалось значне зменшення кількості кремнію до 3,28%мас.(3,08%atom.) в наслідок окиснення та вигоряння. В покритті II типу, навпаки значно зменшувалась кількість алюмінію до 75,64%мас. (69,94% atom.) внаслідок окиснення, що фіксується підвищенням кількості кисню до 13,10%мас. (20,42% atom.).

В покриттях також присутня незначна кількість магнію 0,34…0,44%мас. (0,34…0,48%atom.) та заліза 0,22..0,92%мас. (0,1…0,41%atom.), які потрапили до порошків разом з лігатурою під час механохімічного легування.

Розподіл алюмінію, кремнію та кисню був визначений за результатами маппінгу покриття .

В покритті з порошку II типу, кремній концентрується в окремих локальних ділянках на відміну від покриттів і типу, де від розташовується більш рівномірно по границях частинок (ламелей або сплетів). Кисень в покриття II типу також розподілений не рівномірно і в основному зосереджується в порах, на відміну від покриття на основі порошку I типу, де кисень розподілений рівномірно.

Суттєво в покриттях відрізняються значення пористості і мікротвердості, що вимірювалося від поверхні до підкладки. В покритті з порошку I типу пористість складає 2,8%, а середнє значення мікротвердості 0,3ГПА, в покритті з порошку II типу спостерігається зворотна залежність пористість дорівнює 9,5%, а середнє значення мікротвердості 0,41ГПА, високе значення твердості покриттів з порошку II типу, обумовлене більш високою концентрацією оксидів, насамперед алюмінію

Висновки. Таким чином, на основі отриманих даних з хімічного складу, пористості та мікротвердості можна рекомендувати отримані покриття для застосування в якості ущільнюючих для корпусів газотурбінних авіаційних двигунів. Більш конкретні рекомендації можна буде надати після проведення експлуатаційних випробувань отриманих покриттів на газо-абразивну та ерозійну стійкість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wilson, S. (2012) Overview of Sulzer Metco Thermally sprayed abradable coating technology for sealing in gas turbines. 6th International Conference, 17 – 18 October 2012, Brussels, Belgium.

2. I. Smirnov, A. Chornyi, V.Lysak, N. Dolgov, I. Sieliverstov, K. Parshenko, Comparison of chemical composition and wear of iron and nickel aluminide coatings applied by plasma spraying, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023. V.4, №12(124). P. 47-55

УДК 677.055

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ

Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Рубанка М.М.
Київський національний університет технологій та дизайну

Як відомо [1, 2], зубчасті передачі – це механізми, які працюють за принципом зачеплення і призначені для передачі обертального руху з одного валу на інший та зміни

частоти обертання. Цей різновид механічної передачі вирізняється рядом переваг в порівнянні з іншими типами механічних передач. Але є і суттєві недоліки - значні контактні напруження в зубчастому зачеплені, що безпосередньо впливає на довговічність роботи зубчастої передачі.

Дана проблема може бути частково вирішена, якщо зубчасту передачу, що містить шестерню, встановлену на ведучому валу, розташованому в опорах, зубчасте колесо та паразитну шестерню, встановлену на осі між шестернею та зубчастим колесом додатково оснастити двома повзунами, в яких встановлені опори, а паразитна шестерня встановлена з можливістю плоско-паралельного її переміщення [3]. Однак передача потужності від ведучого вала до веденого вала одним потоком зумовлює значні контактні напруження в зубчастих зачепленнях шестерні з паразитною шестернею та паразитної шестерні з зубчастим колесом, що призводить до зниження довговічності роботи зубчастої передачі.

В основу досліджень поставлена задача створити нову конструкцію зубчастої передачі, в якій введенням нових елементів та їх зв'язків забезпечилось би підвищення довговічності роботи зубчастої передачі.

Авторами пропонується конструкція зубчастої передачі [4], що містить шестерню, встановлену на ведучому валу, зубчасте колесо, встановлене на веденому валу, та паразитну шестерню, встановлену між шестернею і зубчастим колесом та кінематично з ними з'єднану, додатково обладнаної двома зірочками та ланцюгом, що їх охоплює, причому одна зірочка встановлена на ведучому валу, а друга зірочка встановлена на веденому валу. Додаткове обладнання зубчастої передачі двома зірочками та ланцюгом, що їх охоплює, причому одна зірочка встановлена на ведучому валу, а друга зірочка встановлена на веденому валу, забезпечує передачу потужності від ведучого вала веденому валу двома потоками: перший потік ведучий вал - шестерня - паразитна шестерня - зубчасте колесо - ведений вал; другий потік ведучий вал - ведуча зірочка - ланцюг - ведена зірочка - ведений вал, що знижує контактні напруження в зубчастих зачепленнях шестерні з паразитною шестернею та паразитної шестерні з зубчастим колесом, що призводить до підвищення довговічності роботи зубчастої передачі.

Зубчаста передача (рис. 1) містить шестерню 1, встановлену на ведучому валу 2, зубчасте колесо 3, встановлене на веденому валу 4, паразитну шестерню 5, встановлену на осі 6 між шестернею 1 і зубчастим колесом 3 та кінематично з ними з'єднану, дві зірочки: ведучу 7 і ведену 8 та ланцюг 9, що їх охоплює, причому зірочка 7 встановлена на ведучому валу 2, а зірочка 8 встановлена на веденому валу 4.

Зубчаста передача працює таким чином. При вмиканні привода (на рис. 1 не показаний), в складі якого використовується зубчаста передача, ведучий вал 2 з жорстко закріпленими на ньому шестернею 1 та ведучою зірочкою 7 починає обертатися. Шестерня 1 шляхом зубчастого зачеплення з паразитною шестернею 5 приводить її в обертання. Обертальний рух паразитної шестерні 5 шляхом зубчастого зачеплення передається зубчастому колесу 3 і веденому валу 4, на якому воно жорстко закріплено. Одночасно з цим обертальний рух зірочки 7 шляхом зачеплення з ланцюгом 9 передається зірочці 8 та веденому валу на якому вона жорстко закріплена. При цьому передача потужності від ведучого вала 1 веденому валу 4 здійснюється двома потоками: перший потік ведучий вал - шестерня - паразитна шестерня - зубчасте колесо - ведений вал; другий потік ведучий вал - зірочка 7 - ланцюг - зірочка 8 - ведений вал, що забезпечує підвищення довговічності роботи зубчастої передачі.

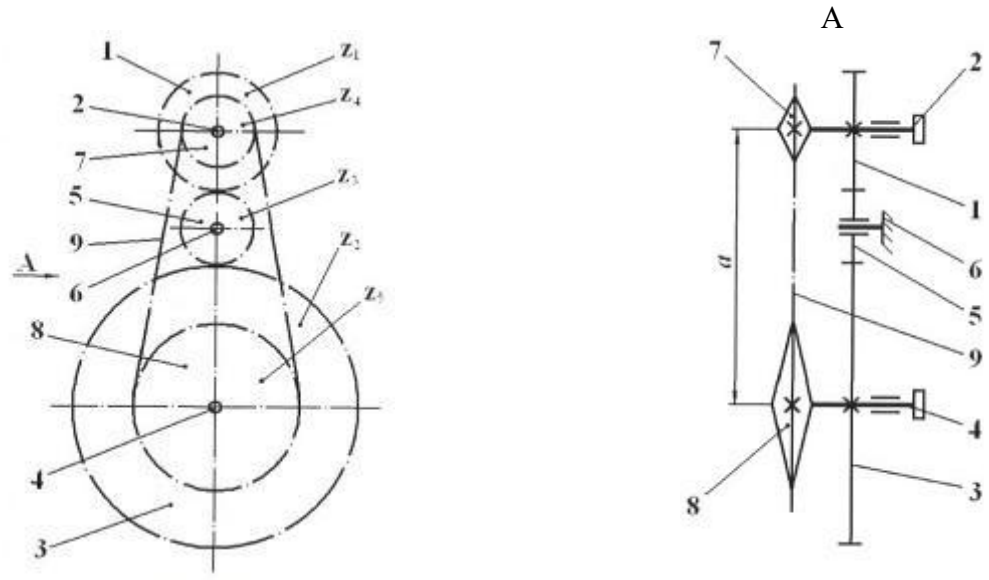


Рисунок 1 – Зубчаста передача (запропонована конструкція)

Для забезпечення працездатності зубчастої передачі співвідношення між зубами шестерні, зубчастого колеса та зірочок повинно задовольняти умову:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{z_5}{z_4},$$

де Z_1, Z_2 – число зубів шестерні та зубчастого колеса відповідно, Z_4, Z_5 – число зубів ведучої та веденої зірочок відповідно.

Кількість ланок ланцюга повинно вибиратися із умови:

$$k = \frac{z_4 + z_5}{2} = \left(\frac{z_5 - z_4}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{p}{a} + \frac{2a}{p},$$

де k – кількість ланок ланцюга, p – крок ланцюга, a – міжосьова відстань зубчастої передачі.

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} + d_3,$$

де d_1, d_2, d_3 – діаметри ділильних кіл шестерні, зубчастого колеса та паразитної шестерні відповідно.

Висновки. Використання запропонованої конструкції зубчастої передачі в приводі машин дозволяє розширити асортимент зубчастих передач та підвищити їх довговічність роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іванчук А. В. Деталі машин : навч. посібник для студ. вищих пед. навч. закладів / А.В. Іванчук. – Вінниця : ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.

2. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник для студ. вищих навч. закладів / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – Київ : КНУТД, 2011. – 358 с.

3. Пат. 63916 Україна, МПК F16H1/24. (2006.01). Зубчаста передача / С. В. Музичишин, Б. Ф. Піпа ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201103488 ; заявл. 24.03.2011; опублік. 25.10.2011, Бюл. № 20. – 2 с.

4. Пат. 116795 Україна, МПК F16H1/24. (2006.01). Зубчаста передача / Б. Ф. Піпа, В. П. Місяць, С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201611476; заявл. 14.11.2016; опублік. 12.06.2017, Бюл. № 11. -–2 с.

УДК 621.45.046.5

СПОСІБ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ СТРУКТУРИ КОМПОЗИЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРОЕКТНИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Манько Т.А., Мурашко В.В.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Створення кріогенних безлейнерних суцільнокомпозитних трубопроводів для ракетно-космічної техніки потребує всебічного підходу. Властивості таких композиційних конструкцій визначаються їхньою внутрішньою структурою, яка, у свою чергу, зумовлюється технологією виготовлення.

Для конструкції трубопроводу, технологія намотування є ключовою. Для отримання заданої міцності, твердості і стійкості до внутрішнього тиску, важливе значення має орієнтування наповнювача [1]. За рахунок контролю кута укладання, сили натягу та вмісту сполучного, можна отримати багатошарову конструкцію із заданими параметрами [2].

Загальна міцність силової конструкції для розрахункових випадків ракети-носія забезпечується в тому разі, коли критерії міцності виконуються для кожного шару силової оболонки. Тому оцінка відповідності розрахункової товщини кожного шару його фактичній товщині необхідна як для аналізу якості виробничого процесу так і для аналізу впливу випробувальних навантажень на структуру виробу.

Розкид товщини при виготовленні виникає в разі накопичення похибки. Товщина шару може бути представлена як сума добутків кількості проходів наповнювача у шарі на товщину одного проходу із урахуванням похибки кожного шару, і визначається по формулі:

$$t = \sum_{i=1}^{L}(N_i \cdot \delta_i + \Delta_i) \qquad (1)$$

де t – сумарна товщина стінки трубопроводу; N_i – кількість проходів наповнювача у i-му шарі; δ_i – товщина одного проходу; Δ_i – похибка товщини волокна і неточності обладнання; L – кількість шарів конструкції.

Зміна структури трубопроводу під дією випробування тиском, температурними чи іншими навантаженнями може відбуватися із цілого ряду причин. Наприклад, кріогенні температури можуть призводити до розшарування і розтріскування конструкції [3]. Тому оцінка відповідності розрахункової товщини кожного шару фактичній товщині має бути застосована і після прикладання навантажень.

В приведеному дослідженні, для оцінки впливу випробувального тиску в кріогенних умовах було проведено мікроструктурні дослідження з використанням мікроскопа Phenom Pro [4]. Метою цього дослідження був розгляд змін, викликаних випробуваннями внутрішнім тиском трубопроводу із вуглепластику. Досліджувалися зразки торцевої поверхні і внутрішньої поверхні конструкції (торці шліфували, внутрішню поверхню не шліфували). Для досліджень вирізано фрагменти 10×10×1,5 мм із трубопроводу, розташовані по центру конструкції навпроти місця руйнування.

Для оцінки було виміряно товщини стінок конструкції і товщини шарів, рисунок 1.

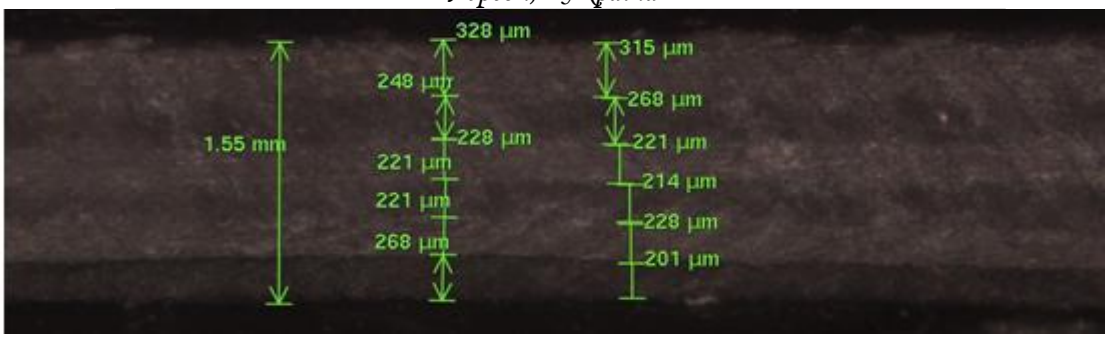


Рисунок 3 – Мікроструктура зразка торця зрізу трубопроводу із вуглепластику.

Оцінити наслідки випробувальних навантажень можна за їх впливом на шари композиційної конструкції. Для кожного із шарів визначається середня товщина шару $\bar{t}_i = \frac{t_{min}+t_{max}}{2}$, де t_{min} та t_{max} – мінімальна і максимальна товщини в шарі . Потім визначається розкид $\Delta_i = t_{max} - t_{min}$ та відносний розкид $r_i = \frac{\Delta_i}{\bar{t}_i} \times 100\%$.

Також за допомогою мікроскопного дослідження можна визначити наявність та розміри піків на зовнішній поверхні виробу. Приклад подібного дослідження наведено на рисунку 2.

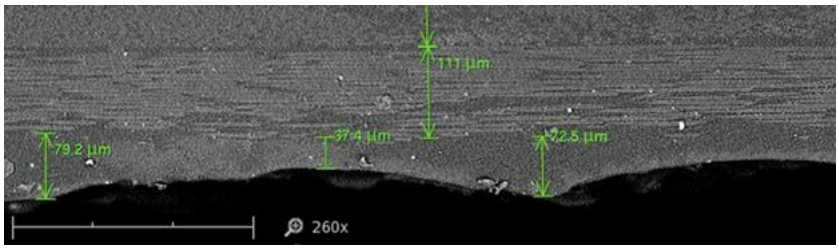


Рисунок 4 – Мікроструктура вуглепластику із розмірами піків на зовнішній поверхні.

Висновки. Оцінка відповідності розрахункової товщини кожного шару фактичній товщині необхідна як для аналізу якості виробничого процесу так і для аналізу впливу випробувальних навантажень на структуру виробу. Встановлено, що для оцінки відповідності структури багатошарової композиційної труби із вуглепластика проектним характеристикам, доцільно використовувати дослідження зразка за допомогою мікроскопічного аналізу. Дослідження мікроструктури також дозволяє виявити наявність та оцінити розміри піків на зовнішній поверхні конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці [Текст] : підруч. для студентів ВНЗ / Є. О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько [та ін.]. - К. : Вища освіта, 2003. - 399 с. : рис. - Бібліогр.: с. 261. - ISBN 966-8081-03-X
2. Metodieva B., Zhezhova S., Srebrenkoska S., Naseva S., Srebrenkoska V. Design of polymer composite pipes produced by filament winding technology. Scientific Proceedings of the XII International Congress "Machines, Technologies, Materials". 2015. Vol. XXIII. Iss. 1. c. 123-125. ISSN 1310-3946.
3. Air A., Shamsuddoha M., Prusty B.G. A review of Type V composite pressure vessels and automated fibre placement based manufacturing // Composite Structures. – 2023. – Vol. 318. – Article 117176. – с. 1–13. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117176. – Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117176, вільний. – Дата звернення: 2 вересня 2025 р.
4. Thermo Fisher Scientific. Phenom Pure, Pro та ProX G6 Desktop SEM – Official product page. URL: https://www.thermofisher.com/nl/en/home/electron-

microscopy/products/desktop-scanning-electron-microscopes/phenom-pure-pro-prox.html/, вільний. – Дата звернення: 2 вересня 2025 р.

УДК 621.74

МОДИФІКУВАННЯ РОЗПЛАВІВ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ СТРУКТУРИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ

Фесенко М. А.[1], Фесенко А. М.[2]
([1]ДУІКТ, м. Київ, Україна) ([2]ДДМА, м. Краматорськ, Україна)
E-mail: fesmak@ukr.net; anatoly.fesenko@ukr.net

Технічний прогрес супроводжується постійним підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик, довговічності і надійності машин, механізмів, обладнання (устаткування) при одночасному зниженні їх собівартості і зменшенні затрат на експлуатацію, ремонт і обслуговування. А це можливо забезпечити в першу чергу шляхом розробки нових і суттєвого покращення існуючих металевих матеріалів (сплавів), які становлять основу конструкцій.

На сьогодні основним конструкційним матеріалом для виготовлення широкої номенклатури фасонних виливків для деталей технічних пристроїв залишається чавун, частка виробів з якого останні роки залишається на рівні 70% від загального світового випуску литва. Тому якістю і властивостями чавуну в значній мірі визначаються можливості вирішення важливих задач підвищення експлуатаційних характеристик технічних пристроїв.

Одним із ефективних, економічних і екологічних способів покращення структури і властивостей чавунних виливків є модифікувальна обробка базового розплаву. В залежності від мети при виготовленні виливків із чавуну на практиці використовується графітизувадьна, сфероїдизувальна і карбідостабілізувальна модифікувальна обробка розплаву чавуну. Графітизувальне модифікування частіш за все застосовується при виготовленні якісних виливків із сірого чавуну з метою зменшення його схильності до вибілення для одержання виливків з перлітною або ферито-перлітною структурою металевої матриці з рівномірно розподіленими включенням вільного графіту в об’ємі без карбідів заліза і інших легуючих елементів, в тому числі в тонкостінних виливках, а також з метою отримання однорідної структури в стінках різної товщини. Крім того таке модифікування часто використовується для комплексного модифікування при виготовленні виливків з високоміцних чавунів з кулястим та вермикулярним графітом після сфероїдизувального модифікування.

Сфероїдизувальне модифікування використовується частіш за все як обов’язкова технологічна операція при виготовленні виливків із високоміцних чавунів з кулястим або вермикулярним графітом.

Кадбідостабілізувальне модифікування проводиться з метою стабілізації карбідів для отримання в виливках структури білого чавуну без включень вільного графіту і підвищення твердості і зносостійкості чавуну.

В наш час розроблено і використовується на практиці значна кількість модифікувальних добавок і методів модифікування. Серед відомих методів модифікування при виговленні невеликих і середніх за масою виливків одним із ефективних, технологічно гнучких, економічних і екологічних є метод внутрішньоформового модифікування - INMOOLD – process.

При цьому способі модифікувальне оброблення розплаву здійснюється безпосередньо в момент заливки порожнини ливарної форми вихідним рідким чавуном, для чого в литниковій системі на шляху руху розплаву до виливка передбачена порожнина (спеціальний резервуар) - проміжна проточна реакційна камера, в яку перед збиранням форми завантажують розрахункову кількість зернистого, дробленого, порошкоподібного, гранульованого або брикетованого модифікатора. Під час заливання ливарної форми при оптимальному поєднанні температури і швидкості потоку рідкого чавуну в литниковій системі модифікатор в реакційній камері послідовно розчиняється (розплавляється) в потоці рідкого чавуну і, переміщаючись в об'єм виливка, засвоюється остаточно розплавом, змінюючи структуру чавуну в порівнннні з базовим.

При внутрішньоформовому модифікуванні суттєво зменшується окислення модифікувальних елементів, скорочується до мінімуму час між введенням модифікатора в рідкий чавун і початком кристалізації останнього, що дозволяє виключити демодифікування розплаву, забезпечити максимальний ефект утворення кристалічних зародків і високий ступінь графітизації, підвищити коефіцієнт засвоєння модифікувальних елементів і скоротити витрату модифікуючих добавок, збільшити продуктивність праці, а також створює умови для автоматизації процесів модифікування та заливання. Крім того, впровадження цього методу у виробництво не потребує встановлення в цеху або на ливарній дільниці кількох плавильних агрегатів, додаткового обладнання чи інших агрегатів та спеціальних пристроїв.

Для забезпечення максимального ефекту від модифікування враховуючи високу чутливість IN-MOLD методу до багатьох факторів і параметрів процесу лиття і модифікувальної обробки необхідно проведення комплексу досліджень для встановлення впливу основних і допоміжних факторів на структуру і властивості чавуну в виливках в конкретних умовах виробництва для конкретних виливків.

В роботі представлені узагальнені результати, отримані методами математичного і фізичного моделювання, а також проведеннми чисельними експериментальними натурними дослідженнями обробки розплавів базових чавунів доевтектичного,схильного до кристалізації з вибіленням, і евтектичного, схильного до кристалізації з формуваннм включень вільного графіту, складу у литниково-модифікувальних системах різної конструкції комплексними сфероїдизувальними модифікаторами ФСМг7, ФСМг9, VL63(M), МПФ1+ФС75, Ni-Mg-Cu, НМг15, НМг19+ФС75, ФЦМ-5, Це48Ла28Мг3 + ФС75, графітизувальними добавками ФС75, ФС45, СБа-5, СК-20, а також карбідостабілізувальними добавками ФХ200, ФХ900, ФБ18, ФМн78, Мн95, ФЦМ-5, МЦ50Ж3, НМг15…НМг19, Ві1 при виробництві чавунних виливків з заданим комплексом механічних і експлуатаційних властивостей. Визначені оптимальні гранулометричні характеристики модифікувальних добавок, необхідна їх кількість для досягнення потрібної структури, а також встановлені раціональні конструкції литниково-живильних систем і типи (конструкції) протокових реакційних камер та температурно-часові режими заливання рідкого чавуну в ливарні форми. Запропоновані нові способи інтенсифікації засвоєння дрібнодисперсних, включаючи пилоподібні, фракцій модифікувальних добавок, що дозволяє зменшити безповоротні втрати дороговартісних модифікувальних добавок після їх подрібнення.

На основі результатів проведених досліджень розроблені технологічні рекомендації з виготовлення експериментальних виливків з потрібною (бажаною) структурою і властивостями, проведені випробування рекомендованих технологічних режимів при виготовленні окремих типових промислових виливків. З використанням розроблених технологічних рекомендацій отримані промислові виливки з бажаною первинною литою структурою і експлуатаційними властивостями.

Отримані результати досліджень і розроблені технологічні рекомендації можуть бути використані для подальшого впровадження в діючих ливарних цехах і дільницях промислових підприємств незалежної України для виготовлення якісних виливків масою до 100 – 250 кг.

УДК 629.365

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНОГО ПНЕВМАТИЧНОГО ДВИГУНА

Мокряк Б.Ю., Зінько Р.В.
Національний університет «Львівська політехніка»

Пневматичні двигуни використовуються у вибуховому виробництві в тих випадках, коли можливі ураження електричним струмом, що має місце в гірничодобувній і хімічній промисловості, в суднобудуванні, при виробництві ручного механізованого інструменту, в машинобудуванні і транспорті, автомобільних системах управління, в будівництві та інших галузях народного господарства країни [1,2].

Пневматичні двигуни, особливо малої потужності, мають невелику відносну вагу на одиницю потужності, вони не бояться перевантажень, прості за конструкцією, надійні в експлуатації і дешеві у виробництві.

Виявлено недоліки поворотних пневматичних приводів. Зокрема, їх низький ККД (20 – 30%). З урахуванням електроенергії, що подається на компресори, і в залежності від типу і якості двигуна, протяжності і стану мереж подачі повітря його значення знижується до 5-15%. Іншими недоліками пневматичних двигунів є забруднення повітря нафтовими аерозолями, а також шум при роботі, рівень якого досягає 120 дБ при санітарній нормі в 80 дБ. Для боротьби з шумом створюються спеціальні глушники, які, в свою чергу, знижують обороти двигунів.

Характеристики вихідної потужності пневматичного двигуна практично постійні у всіх діапазонах швидкостей. Також пневматичний двигун може працювати в широкому діапазоні змінних навантажень. Вихідну потужність можна легко регулювати шляхом зміни робочого тиску, а в міру зменшення обсягу повітря швидкість постійно змінюється. Пневматичний двигун можна навантажувати до повної зупинки, обертати в зворотному напрямку при збільшенні навантаження. Двигун завжди досягає повної вихідної потужності, залишаючись неушкодженим. Пневматичний двигун запускається відразу після зникнення навантаження, навіть якщо він працював без перерви.

Актуальним є застосування роторного пневматичного двигуна на транспорті як пневматичні трансмісії (рис. 1).

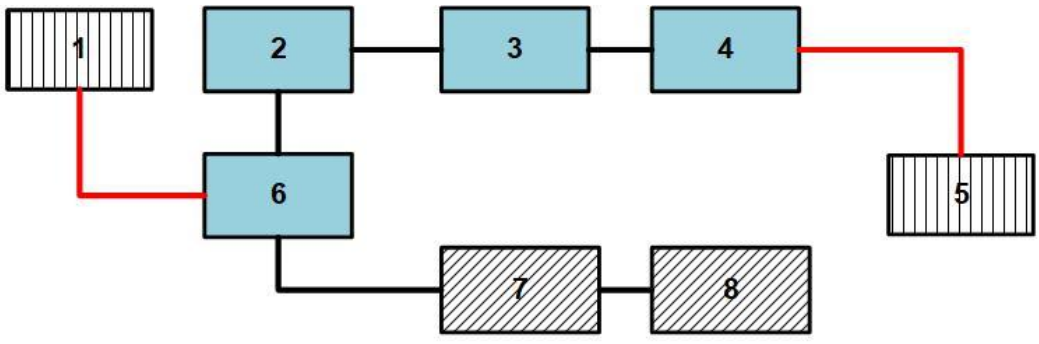


Рисунок 1 – Схема пневматичної трансмісії: 1 – контролер; 2 – обмежувач тиску; 3 – пневморесивер; 4 – компресор; 5 – електробатарея; 6 – електроклапан; 7 – роторний пневматичний двигун; 8 – колесо.

Були проведені експериментальні дослідження роторного пневматичного двигуна який використовується в ударних пневматичних гайковертах.

Метою дослідження є розроблення методики визначення основних експлуатаційних характеристик роторних пневматичних двигунів експериментальним шляхом з використанням розробленої установки.

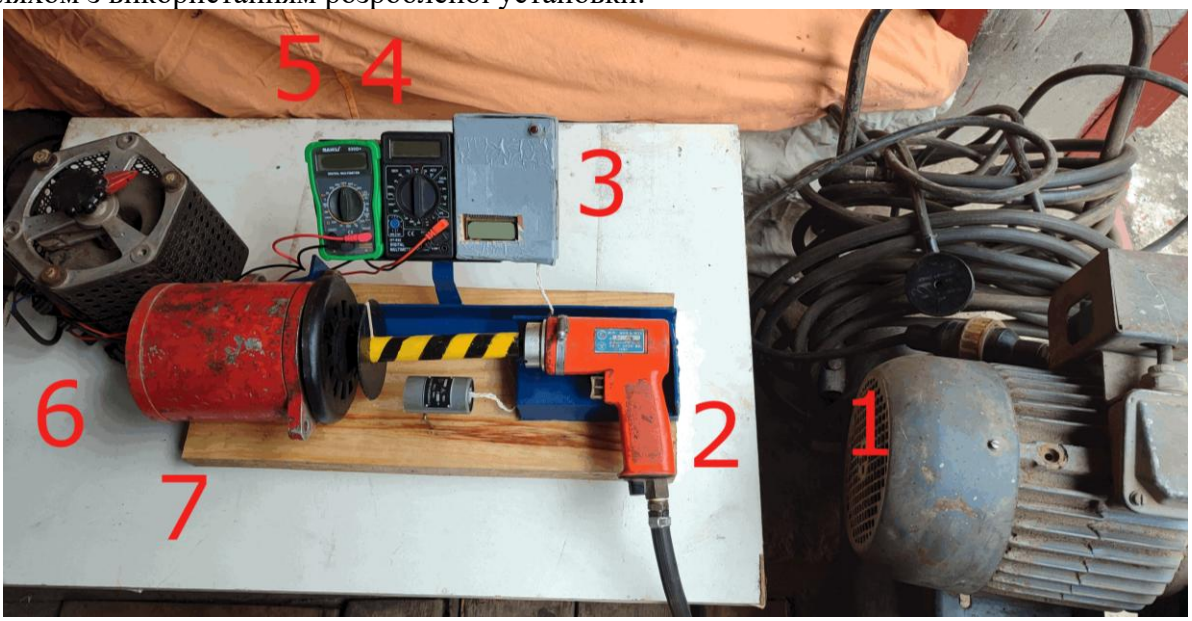


Рисунок 2 – Експериментальна установка: 1 – повітряний компресор; 2 – гайковерт; 3 – тахометр; 4, 5 – мультиметри; 6 – реостат (потенціометр); 7 – електродвигун-гальмо

Отримані результати експерименту представлені в таблиці і на рисунках 3 – 5.

Крутний момент розраховується на основі моменту опору електричного гальма за відомою формулою:

M=9995*P/N,

де, P – потужність електродвигуна в кіловатах (кВт). N - кількість обертів вала в хвилину.

Таблиця – Результати експериментів (механічний ККД приймався рівним 0,7)

n, об/хв	Струм *J, A*	Напруга, U, *B*	Електрична потужність Nел, W	Потужність двигуна Nмех, ВТ	Витрата повітря G, л/хв
950-1050	6,1	7,1	42,1	60,1	130
1930-2070	8,3	10,8	87,8	125,4	140
2870-3110	9,2	11,8	106,6	152,2	150
3820-4150	9,4	11,7	108,0	154,2	160
4810-5210	8,1	10,2	80,9	115,5	180
5750-6230	6,2	8,1	48,9	69,8	190

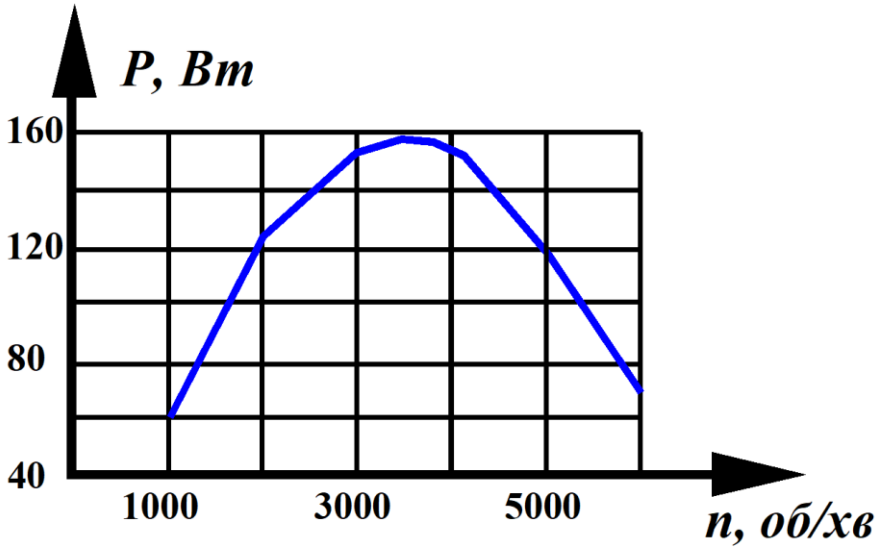


Рисунок 3 – Потужність двигуна

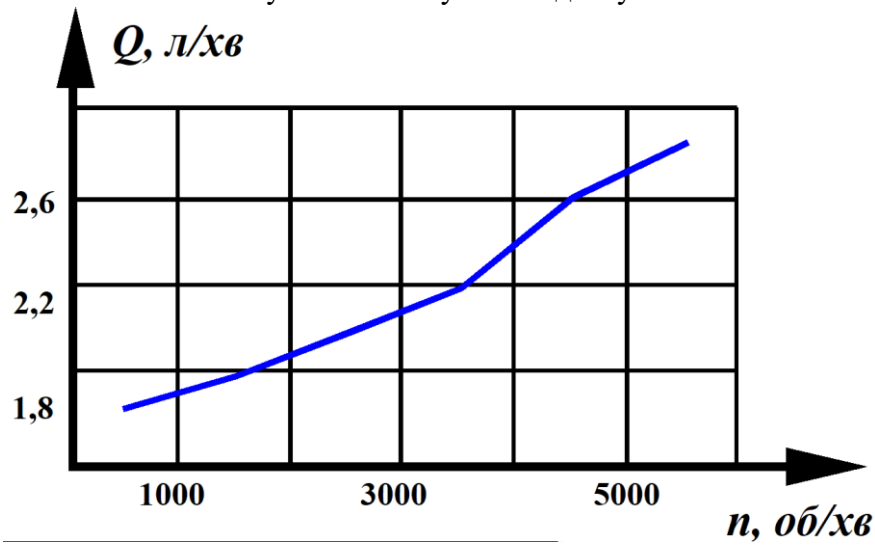


Рисунок 4 – Витрата повітря

Крутний момент максимізується на низьких швидкостях (рис. 2) і зменшується зі збільшенням частоти обертання ротора. Плавна характеристика крутного моменту дозволяє регулювати крутний момент в залежності від частоти обертання ротора.

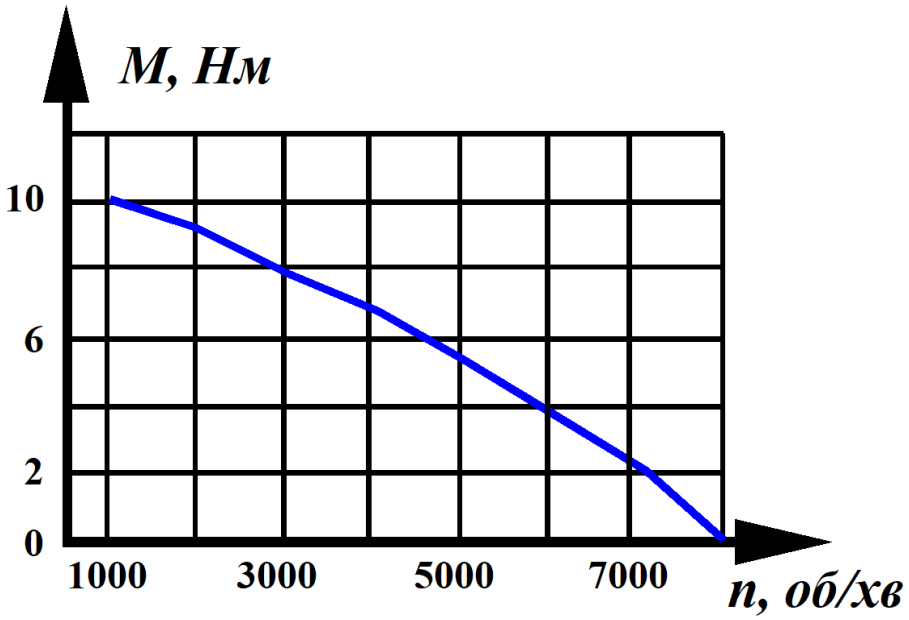


Рисунок 5 – Крутний момент двигуна

Висновки. Розроблена методика дозволяє визначати основні експлуатаційні характеристики роторних пневматичних двигунів (потужність, витрату повітря, крутний момент) експериментальним шляхом з використанням розробленої установки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мокряк Б. Ю., Зінько Р. В. Застосування автомобілів з пневматичними двигунами у військовій справі // Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів, 28–29 листопада, 2024 р.). – 2024. – С. 349–350.
2. Мокряк Б. Ю. Аналіз досліджень пневматичних автомобільних двигунів // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, №1 (24), 2025. С. 303-312.
3. Зінько Р.В. Дослідження експлуатаційних характеристик пневматичного автомобільного двигуна / Р.В. Зінько, О.В. Крамський, Б.Ю. Мокряк, А.П. Поляков // Вісник машинобудування та транспорту Vol. 10, No. 2, 2024. С.48-53. DOI: 10.63341/vjmet/2.2024.48

УДК 621.9 - 1

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРУ ПІД ЧАС ПРОЦЕСІВ ФРЕЗЕРУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Плис В.С., Дегтярьов І.М.
Сумський державний університет

Важко переоцінити роль відцентрових насосів не тільки на виробництві, але і в щоденному житті, побуті. Саме тому можна впевнено сказати, що даний тип насосів є одним з найбільш розповсюджених і одним з найбільш затребуваних. Незалежно від розмірів, майже усі вони мають дуже схожу конструкцію і принциі дії. Одним з найбільш складних з точки зору виготовлення є апарат спрямовувальний (АС) через свою складну геометричну форму та точні розміри, які безпосередньо впливають на стабільність роботи

насосів, а також забезпечують виконання службового призначення. Одним із перспективних способів підвищення ефективності виготовлення АС є використання верстатних пристроїв (ВП).

В дослідженнях [1] описується спроектований гнучкий ВП, який проаналізований методами чисельного моделювання, за результатами якого видно, що ВП задовольняє усі вимоги та умови. Наступним етапом перевірки працездатності ВП повинно бути виготовлення дослідного зразка, але є проблема – АС, який потрібно виготовити, має великий зовнішній діаметр (Ø290 мм), відповідно спроєктований ВП і сама заготовки АС для проведення реального екперименту і підтвердження працездатності нової конструкції також мають досить великі габарити і вартість. Оскільки ще невідомо які результати будуть отримані під час реальних випробувань, то потрібно знайти альтернативний спосіб визначення працездатності реального дослідного зразка ВП з меншими фінансовими витратами.

Існують методики застосування масштабних факторів і коефіцієнтів при випробуваннях конструкцій, рідин, газів, тощо. Для підтвердженння теорії, що реальний експеримент зі зменшеними розмірами заготовки і верстатного пристрою буде валідний, було проведено міні-експеримент з фрезерування двох типів заготовок прямокутної форми, при цьому був використаний коефіцієнт масштабування 1:2 для зменшення розмірів в 2 рази. Ескізи наведено на рис. 1. Фото експериментальних зразків наведено на рис. 2.

Експеримент проводився з використанням заготовки типу квадрат 20х20 мм і фрези кінцевої Ø16 мм для оригінального розміру (були використані наступні режими обробки: 1250 об/хв. та подача 100 мм/хв при цьому швидкість різання складала 62,8 м/хв. А також для заготовки типу квадрат з використанням коефіцієнту масштабування 1:2, тобто заготовка являла собою квадрат 10х10 мм і фрези кінцевої Ø8 мм (режими обробки: 2500 об/хв. та подача 100 мм/хв при цьому швидкість різання складала також 80,3 м/хв). Відхилення сил різання визначалися за допомогою тензометричного динамометру типу УДМ-600, а відхилення товщини стінок фрезерованих заготовок від номінального їх значення – за допомогою мікрометра МК-25.

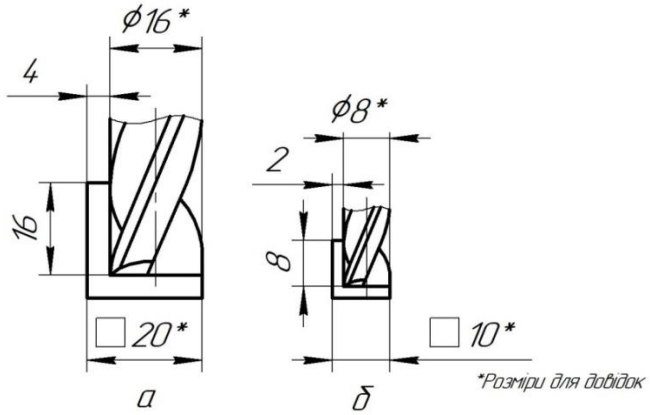


Рисунок 1 – Ескізи деталей для проведення експерименту з масштабуванням розмірів заготовки і інструменту (а – розмір 1:1, б – розмір 1:2)



Рисунок 2 – Фото експериментальних зразків (а – розмір 1:1, б – розмір 1:2)

Далі виконувалось порівняння отриманих значень величин відхилень і розмірів, а також значення сил при обробці двох заготовок з коефіцієнтом розміру заготовок і інструменту, що дорівнює 1:2. Сили різання при обробленні фрезою 16 мм склали: Pz=672Н, Px=194Н, Py=301Н та відповідно при обробленні фрезою 8 мм: Pz=343Н, Px=98Н, Py=153Н, що менше на 49-51% та в принципі відповідає зменшенню параметрів обробки на 50%, тобто 1:2. Деформації стінок також мали розбіжність близько 51-53%, що було прогнозовано з точки зору масштабного фактора та прямої пропорційності.

Висновки. Враховуючи отримані результати, які цілком задовільняють нашим умовам, можна зробити висновок, що для проведення подальшого реального експерименту буде виготовлено дослідний зразок ВП і заготовки АС з використанням масштабування розмірів 1:2 від номінальних значень на кресленнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Плис В., Дегтярьов І., Нешта А., Метенко О. Розроблення конструкції верстатного пристрою для оброблення каналів апаратів спрямовувальних відцентрових насосів. *Технічні науки та технології.* 2024. № 3(37). С. 64-78.

УДК 621.9

ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ ГЛИБОКОМУ СВЕРДЛІННІ ГАРТОВАНОЇ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ГАРМАТНИМ СВЕРДЛОМ

Крупа В.В., Щербань Ю.І., Канюка В.І, Тарапата О.С.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Проаналізовано дослідження з технології свердління глибоких отворів [1,2]. При глибокому свердлінні найчастіше використовуються гарматні свердла або свердла з bta різних фірм виробників, які надають рекомендовані режими обробки. Для груп матеріалів у довідниках висвітлюють діапазон швидкості різання та подачі. Проте інформація, як впливають ці параметри на якісні показники оброблюваних отворів, в більшості випадків

відсутня. Дуже часто доводиться оброблювати гартовані матеріали з підвищеними фізико-механічними характеристиками (наприклад високолеговані сталі), для яких важко вибрати однозначно групу свердління і часто виявляється, що рекомендовані режими обробки неможливо відтворити. Наприклад, згідно [3] для свердління отворів діаметром 40 мм гарматним свердлом фірми Bootec тип 110 при обробленні легованих нержавіючих сталей свердлами з припаяною твердосплавною головкою рекомендована швидкість різання 40-80 м/хв, подача 0,063-0,247 мм/об, а для оброблення жароміцних сплавів швидкість різання 25-60 м/хв, подача – 0,086-0,1 мм/об. Практика показує, що при встановленні навіть мінімальної рекомендованої подачі при оброблення гартованих легованих сталей, на поверхні спостерігаються задири і якість просвердленого отвору не відповідає необхідним параметрам. Тому дослідження впливу елементів режимів різання, зокрема, на шорсткість просвердленого отвору є актуальною задачею.

Для проведення досліджень було вибрано гартовану сталь (28-32 HRC) 38ХН3МФА-Ш, що застосовується для найбільш відповідальних важконавантажених деталей, які працюють при температурах до 400 °С з ударною в'язкістю 780кДж/м^2, з охолодженням спеціальним маслом для глибокого свердління. Для проведення досліджень використовували гарматне свердло одностороннього різання тип 110 фірми Bootec стандартного заточування діаметром 40 мм.

Схема свердління показана на рис. 1.

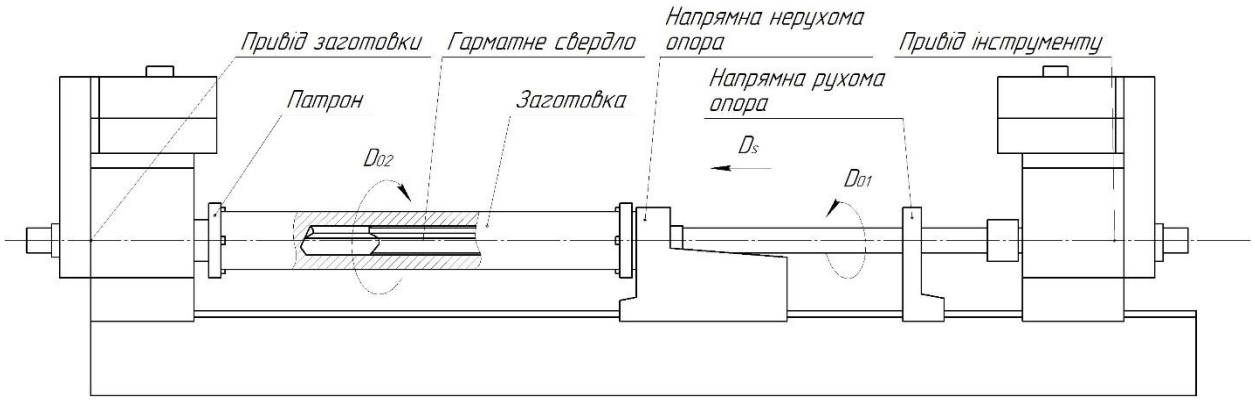


Рис. 1 Схема обробки

Проведено дослідження впливу подачі на шорсткість обробленої поверхні. При мінімальній заявленій подачі 0,063 мм/об – стабільного процесу різання досягти не вдавалось на існуючому обладнанні. Дослідження проводили на подачах 0,02, 0,025, 0,03, 0,035, 0,04, 0,045, 0,05 мм/об. Для цього на одній заготовці програмно задавали подачу, збільшуючи її через кожні 250 мм. Незважаючи на численні дослідження [4] щодо мінімальної подачі (наявність радіуса скруглення вершини r=20 мкм) - процес різання при подачі 0,02 мм/об (0,01 мм/зуб) відбувався стабільно. При досягненні подачі 0,05 мм/об процес різання відбувався нестабільно – починались значні вібрації, на поверхні спостерігались риски, задири, візуально значно збільшилась шорсткість поверхні тощо.

Для вимірювання шорсткості використовували профілометр. Для процесу вимірювань заготовку розрізали на циліндри (на кожному циліндрі інша подача). Коло кожного циліндра умовно розділили на 8 частин і на кожній поділці робили 4 траси вимірювань (в межах базової довжини). За результатами вимірювань визначали середні значення параметру Ra, дисперсії розсіювань та середні квадратичні відхилення. За критеріями Стюдента і Фішера перевіряли на суттєвість відмінностей величини Ra в межах різних вибірок Результати вимірювань подані в таблиці.

Таблиця. Результати досліджень та розрахунків

№ заг.	Частота оберт., об/хв	Подача, мм/хв	Подача, мм/об	Параметри шорсткості			Крит. Стьюдента	Крит. Фішера
				Середнє значення Ra, мкм	Дисперсія розсіюван. D(Ra)	σ (Ra)		
1	360	7,2	0,02	0,8387	0,0085	0,0922	-	-
2		9	0,25	0,8387	0,0107	0,1036	-	-
3		10,8	0,3	0,7977	0,0121	0,1098	-	-
4		12,6	0,35	0,8249	0,0088	0,0937	-	-
5		14,4	0,4	0,751	0,0047	0,0687	-	-
6		16,2	0,45	0,7976	0,0119	0,109	-	-

- - вплив не суттєвий

За результатами досліджень встановлено що подачі від 0,02 мм/об до 0,045 мм/об статистично суттєво не впливають на величину шорсткості поверхні для вищезгаданої сталі.

Висновки. Встановлено, що до подача до 0,045 мм/об статистично не впливає на шорсткість поверхні при глибокому свердлінні свердлами фірми Bootec (тип 110 з припаяною твердосплавною головкою). При збільшенні подачі до 0,45 мм/об спостерігаються значні вібрації і параметри процесу різання виходять за межі допустимих.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карпович, І., та Савінкін, Д. (2024). Аналіз технологій отримання та обробки глибоких отворів у товстостінних деталях. Журнал ракетно-космічної техніки , 33 (4-28), 63-67.
2. Li, B., Huang, C., Chen, Z. et al. Change of the machined hole wall surface roughness, microstructure and microhardness of low alloy steel caused by drill-guide-pads during BTA deep hole drilling. Int J Adv Manuf Technol 139, 1595–1605 (2025). https://doi.org/10.1007/s00170-025-15989-8
3. Botec. Single flute gundrills Twin fluted drills: catalog. Режим доступу: https://www.botek.de/downloads/en/Catalog_ELB_ZLB_E.pdf. [Дата звернення: 15.09.2025]
4. David A. Stephenson, John S. Agapiou.Metal Cutting Theory and Practice: Third Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2016, 956 p

УДК 539.4: 621.7

МЕХАНІЗМИ КРАЙОВОГО ВІДШАРУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ, ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Долгов М.А., Тарасовська С.О.
Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України

На поверхні деталей і елементів конструкцій наносять захисні покриття, які суттєво підвищують їх міцність, зносостійкість і довговічність. Однак якість виконання їх функціональних властивостей зменшується внаслідок процесів руйнування, зокрема крайового відшарування. Вивчення механізмів такого відшарування є важливим як для розуміння процесів руйнування, так і для вдосконалення технологій нанесення покриттів та підвищення їх надійності.

Керамічні покриття формуються газотермічним, плазмовим або електронно-променевим напиленням. Для них характерні великі твердість і крихкість, а також наявність залишкових напружень внаслідок швидкого охолодження та різницю термічних коефіцієнтів розширення покриття та основи. Структура має високу пористість, що створює умови для концентрації напружень і появи мікротріщин.

Полімерні покриття, навпаки, мають високу пластичність, здатність до деформації та релаксації напружень, але також схильні до фізико-хімічних змін із часом, що призводить до втрати адгезії. Значний вплив має взаємодія полімерних ланцюгів із поверхнею основи, та формування адгезійних зв’язків у межах поділу фаз.

Композиційні покриття, які поєднують у собі властивості різних матеріалів (наприклад, полімерна матриця із керамічними наповнювачами), мають складну мікроструктуру із локальною зміною фізико-механічних властивостей, що створює додаткові виклики під час взаємодії компонентів та міцності, як на межі складових матеріалу, так і в площині адгезійного контакту покриття з основою.

Різниця коефіцієнтів термічного розширення покриття і основи в умовах температурних змін викликає напруження, які мають концентрацію в околі вільного краю покриття. У крихких керамічних покриттях вони викликають появу мікротріщин та відшарування. У полімерних – можуть викликати локальне руйнування адгезійного шару внаслідок втрати взаємозв’язку на межі фаз.

У процесі нанесення будь-якого покриття (газотермічне напилення, полімеризація тощо), утворюються залишкові напруження, які підвищують ймовірність початку відшарування. Так, у полімерних покриттях релаксація цих напружень сприяє адгезії до основного матеріалу, а швидка полімеризація без повного зняття напружень може викликати утворення тріщин або зсувів в площині адгезійного контакту.

Концентрація дефектів (мікропор та тріщин) створює місця концентрації напружень, із яких починається процес відшарування. Ці дефекти можуть утворюватись внаслідок нерівномірності нанесення покриття, забруднення поверхні або деформації під час експлуатації. Зовнішні навантаження (удари, знос, вібрації) і агресивне середовище додатково зменшують адгезію та призводять до розвитку тріщин і крайового відшарування покриття.

Руйнування може бути як адгезійним (розрив між покриттям і основою), так і когезійним (руйнація внутрішніх зв’язків покриття). У полімерних покриттях, наприклад, когезійне руйнування може бути пов’язане з деградацією полімеру внаслідок старіння або умов експлуатації.

Існує багато моделей для визначення концентрації напружень в околі вільного краю покриття внаслідок силового навантаження основного матеріалу [1, 2]. Під час навантаження основи внаслідок дії дотичних напружень в площині адгезійного контакту виникає крайове відшарування як в керамічних (рис. 1), так і композиційних покриттях (рис. 2).

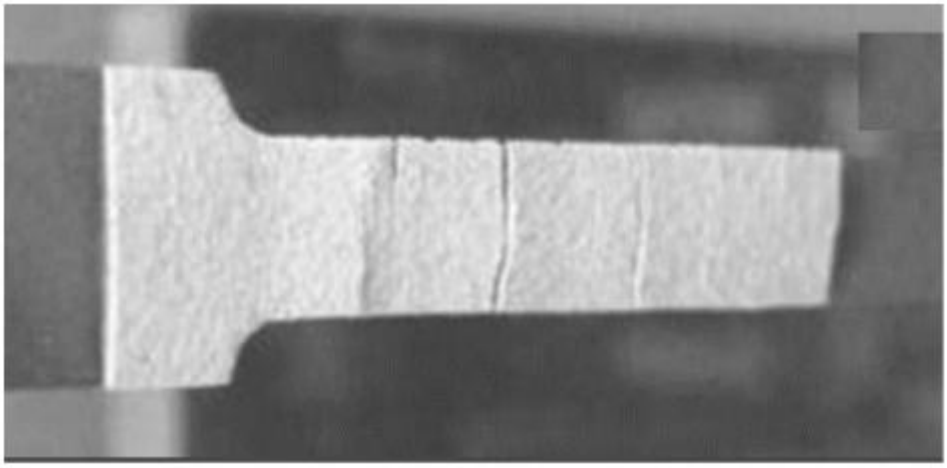


Рисунок 1 – Розтріскування та подальше крайове відшарування керамічного покриття під час випробувань зразків на розтяг [3]

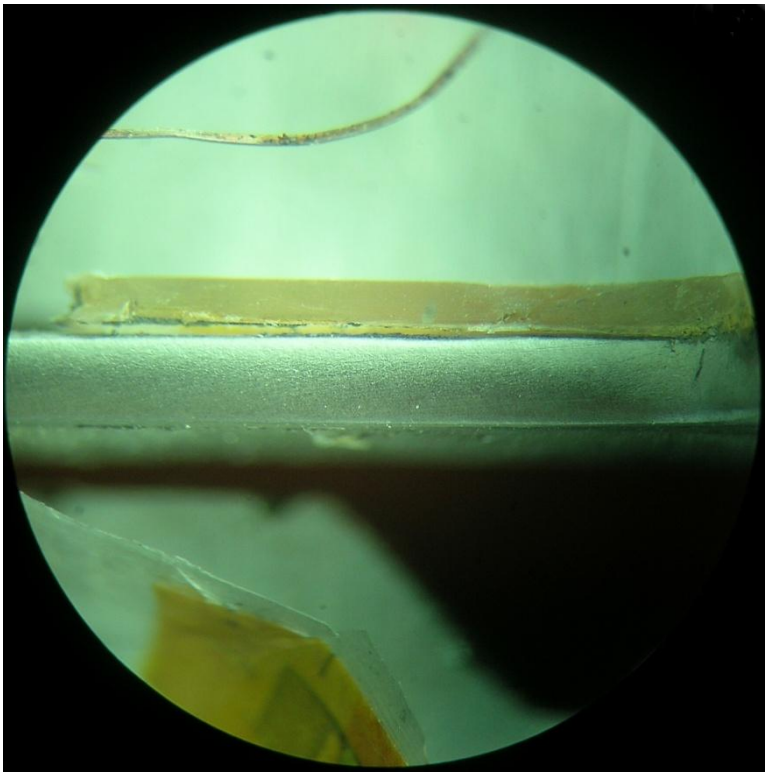


Рисунок 2 – Крайове відшарування композиційного покриття після випробування на розтяг металевого зразка товщиною 1,1 мм [4]

Висновки. Механізми крайового відшарування керамічних, полімерних та композиційних покриттів є комплексним фізико-механічним і хіміко-фізичним процесом, який визначається багатьма взаємопов’язаними факторами. Результати аналізу свідчать про те, що для кожного типу покриття існують як спільні, так і специфічні механізми

відшарування. По-перше, термомеханічні напруження, що виникають внаслідок різниці у коефіцієнтах термічного розширення між покриттям і основою, є основним фактором крайового відшарування. Особливо це актуально для керамічних покриттів, які мають високу твердість та крихкість, а також для композиційних матеріалів, де різнорідність фаз призводить до локального накопичення напружень на межах розділу. У полімерних покриттях, де матеріал є більш пластичним, ці напруження можуть компенсуватися частково, однак в умовах значних коливань температури або тривалому експлуатаційному циклі ці напруження можуть спричиняти локальні зменшення адгезії.

По-друге, залишкові напруження, які формуються під час технологічного процесу нанесення (швидке охолодження покриттів або полімеризація) є критичним фактором. Вони створюють зони підвищеного ризику появи мікротріщин, особливо в місцях дефектів та неоднорідностей. Ці залишкові напруження визначають стійкість покриття і залежать від таких технологічних параметрів, як температура, швидкість нанесення, склад і властивості вихідних матеріалів.

Також велику роль у процесі відшарування покриттів відіграють мікроструктурні дефекти (пори та мікротріщини), які служать концентраторами. В комбінації з агресивними зовнішніми впливами, такими як механічне навантаження, волога, корозія, ультрафіолетове випромінювання, ці дефекти істотно знижують адгезію покриття. В композиційних покриттях велике значення має також сумісність фаз і взаємодія між компонентами, оскільки розшарування часто починається на межах між різними матеріалами.

Експлуатаційні умови, такі як циклічні навантаження, удари і вібрації, прискорюють процеси крайового відшарування. Хімічний вплив агресивних середовищ приводить до деградації матеріалу покриття та руйнування функціональних зв'язків. В полімерних покриттях спостерігаються такі ефекти, як утворення тріщин внаслідок старіння, втрати еластичності та зменшення адгезійних характеристик.

Для ефективного запобігання крайовому відшаруванню необхідно впроваджувати системні технологічні підходи: ретельна підготовка поверхні (очищення, травлення, шліфування), створення багатошарових покриттів із градієнтною структурою, застосування проміжних адгезивних шарів, які зменшують концентрацію напружень і покращують сумісність матеріалів.

Загалом, вивчення і розуміння механізмів крайового відшарування є ключовим для авіаційній, автомобільній, електронній, будівельній та інших галузей, де надійність захисних покриттів визначає безпеку та ефективність експлуатації. Для забезпечення надійності та довговічності покриттів потрібен комплексний підхід, який включає вдосконалення методів нанесення, використання багатошарових і нанокомпозиційних покриттів, а також контроль якості на всіх стадіях виробництва покриття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dolgov N.A. Analytical methods to determine the stress state in the substrate–coating system under mechanical loads // Strength Mater. – 2016. – V. 48. – P. 658 – 667.
2. Dolgov M.A. Analysis of the stress state in the deformed coating under base stretching with the bending effect account // Strength Mater. – 2024. – V. 56. – P. 1127 – 1135.
3. Dolgov N.A., Smirnov I.V., Besov A.V. Studying the elastic properties and adhesive strength of plasma-sprayed double-layer coatings during tensile tests // Powder Metall Met Ceram. – 2015. – V. 54. – P. 40 – 46.
4. Analytical stress analysis of the furan epoxy composite coatings subjected to tensile test / Dolgov N., Stukhlyak P., Totosko O., et al. // Mechanics of Advanced Materials and Structures. – 2023. – V. 31(25). – P. 6874 – 6884.

УДК 621.791.7:621.9

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING ШЛЯХОМ ДИНАМІЧНОГО КЕРУВАННЯ СКЛАДОМ ЗАХИСНОГО ГАЗУ

Молочков Д.Є., Красносельський К.В., Куликовський Р.А.
Національний університет «Запорізька політехніка»

Технологія Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) — це передовий метод пошарового наплавлення металевих об'єктів, в основі якого лежить технологія електродугового зварювання, яка найчастіше використовує плавкий електрод (дріт) і електричну дугу для створення великогабаритних металевих конструкцій. Серед її ключових переваг — надзвичайно висока продуктивність, що дозволяє суттєво скоротити час виробництва, та значне зменшення матеріальних відходів [1].

Попри ці переваги, WAAM має певні обмеження, які перешкоджають широкому промисловому застосуванню цієї технології. Одним із головних недоліків є відносно низька точність контуру та висока хвилястість поверхні, що вимагає значної механічної постобробки, а це, у свою чергу, збільшує витрати та час виробництва [1]. Крім того, технологія схильна до утворення внутрішніх дефектів та високих залишкових напружень, що може призвести до деформації та погіршення механічних властивостей готового виробу [2].

Сучасні зварювальні процеси, що є основою WAAM, такі як Cold Metal Transfer (CMT), дозволяють значно знизити тепловкладення в матеріал [3]. Це допомагає зменшити ефект накопичення тепла та, як наслідок, знизити внутрішні напруження, що є однією з головних проблем WAAM [2]. Проте, низьке тепловкладення має і зворотний бік: воно може негативно впливати на плинність розплавленого металу, що, у свою чергу, призводить до утворення дефектів несплавлення, особливо при роботі з тугоплавкими матеріалами.

Припускається, що проблема дефектів несплавлення, а також нерівномірності бічних поверхонь, може бути ефективно вирішена за допомогою оптимізації складу захисного газу. Зокрема, динамічна зміна пропорції компонентів у захисній суміші в процесі наплавлення може дозволити контролювати формоутворення, покращити змочування поверхні та мінімізувати дефекти, тим самим забезпечуючи високу якість виробу для різних конфігурацій, від тонкостінних до масивних елементів.

Захисний газ у процесі WAAM виконує критично важливу функцію. Як і в традиційному дуговому зварюванні (GMAW), на якому базується WAAM, його основне призначення – захист зварювальної ванни та дуги від шкідливого впливу атмосферних газів. Проте, вплив захисного газу виходить далеко за межі простого захисту. Склад газової суміші, швидкість її подачі та характер потоку є ключовими технологічними параметрами, які визначають стабільність дуги, механізм перенесення металу, особливості теплопередачі, а також кінцеву геометрію та якість поверхні наплавленого матеріалу [1]. Таким чином, вибір захисного газу є потужним інструментом для управління основними характеристиками процесу.

Феномен Марангоні, що виникає через градієнт поверхневого натягу в рідкій ванні, суттєво впливає на її форму та глибину проплавлення. Наявність поверхнево-активних елементів (наприклад, кисню з CO_2-вмісних сумішей) може змінити напрямок та інтенсивність потоків розплаву, що може призвести до збільшення глибини проплавлення.

Додавання CO_2 у захисний газ може змінювати характер потоку розплаву та змочування поверхні, що має вирішальне значення для бездефектного наплавлення наступних валиків.

Дефекти несплавлення, що виникають при багатопрохідному наплавленні, є однією з найважливіших проблем WAAM, особливо при створенні товстостінних елементів [4]. Цей дефект виникає, коли наплавлений валик не забезпечує належного сплавлення з попереднім шаром і сусіднім валиком. Основними причинами є недостатнє тепловкладення або низька температура розплавленої ванни, що призводить до поганої текучості металу та його неоптимального змочування поверхні [5].

Вибір захисного газу може впливати на цей процес. Як було зазначено раніше, склад газу, зокрема наявність активних компонентів, таких як CO_2, впливає на циркуляцію Марангоні, яка визначає текучість розплаву та його здатність розтікатися [6]. Оптимізація газової суміші дозволяє підвищити змочування поверхні та уникнути несплавлення [6]. Наприклад, для інструментальної сталі 5 Cr – 4 Mo використання чистого CO_2 дозволило отримати вищу якість поверхні та відсутність внутрішніх дефектів, порівняно із сумішшю Ar+18% CO_2, яка спричинила поверхневі забруднення [7].

Якість поверхні виробу безпосередньо залежить від стабільності процесу та рівномірності наплавлення. Нерівномірність поверхні (хвилястість) може бути спричинена різними факторами, включаючи теплопровідність захисного газу та характер перенесення металу [8]. Зокрема, наявні дослідження підтверджують, що вибір складу захисного газу має вирішальний вплив на формоутворення виробів, виготовлених за технологією WAAM [1]. Наприклад, при наплавленні низьковуглецевої сталі (типу 09Г2С) суміші на основі аргону та CO_2 призводять до утворення ширшого наплавленого валика, тоді як потрійна суміш з гелієм (He+Ar+CO_2) формує вужчий валик, але з глибшим проплавленням [1]. Такий контроль над геометрією валика є ключовим, оскільки він дозволяє зменшити відхилення від цільового контуру, що, у свою чергу, мінімізує обсяг необхідної постобробки.

Враховуючи, що оптимальна геометрія валика та змочування поверхні залежать від конфігурації вирощуваного елемента, перспективним напрямом досліджень є динамічна зміна складу захисного газу в процесі наплавлення. Цей метод передбачає використання різних газових сумішей для різних ділянок однієї деталі. Наприклад, для вирощування тонкостінних елементів, що вимагають точного контролю геометрії та мінімального розтікання, може бути використаний газ, який забезпечує вужчий валик. При переході до вирощування товстої стінки або в місцях, де критичним є сплавлення сусідніх валиків, можна динамічно переключитися на суміш, що забезпечує більшу температуру ванни та кращу змочуваність поверхні, тим самим запобігаючи дефектам несплавлення.

Хоча дослідження в цій області не є новими, прецедентів адаптивного керування процесом GMAW, що включають контроль подачі різних газових компонентів в залежності від геометричних параметрів вирощуваних елементів, все ще не вистачає для розробки комплексної методології розширеного контролю над формоутворення валиків. Крім того, застосування адаптивного складу газової суміші має бути досліджено разом з розробленими системами, що адаптують параметри процесу, такі як швидкість подачі дроту та швидкість переміщення, до складної геометрії траєкторії [5]. Об'єднання цього підходу з динамічною зміною газової суміші може значно підвищити якість, точність та гнучкість технології WAAM, що робить її ідеальним об'єктом для подальших наукових досліджень.

Висновки. Окремі існуючі дослідження, які зосереджені на використанні захисного газу як інструменту для вирішення ключових проблем WAAM при роботі з вуглецевими сталями, не систематизують ефект газу на формоутворення, а скоріше спрямовані на вибір задовільної захисної газової суміші серед стандартних пропозицій. Проблема дефектів несплавлення та нерівномірності поверхонь, що посилюється низьким тепловкладенням в процесах типу CMT, також широко не відображена в наукових публікаціях і потребує нових досліджень. Запропонована гіпотеза динамічної зміни складу

газової суміші може бути дієвим інструментом для забезпечення якісної і бездефектної геометрії вирощуваних деталей, при цьому використовуючи сильні сторони процесу CMT для контролю переносу металу. Такий підхід має покращити контроль над плинністю розплаву, змочування та загальну геометрію наплавленого матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Silwal B, Pudasaini N, Roy S, Murphy AB, Nycz A, Noakes MW. Altering the Supply of Shielding Gases to Fabricate Distinct Geometry in GMA Additive Manufacturing. Applied Sciences. – 2022. – №12(7):3679. https://doi.org/10.3390/app12073679

2. Arana M, Ukar E, Rodriguez I, Iturrioz A, Alvarez P. Strategies to Reduce Porosity in Al-Mg WAAM Parts and Their Impact on Mechanical Properties. *Metals*. – 2021. – №11(3):524. https://doi.org/10.3390/met11030524

3. Cold Metal Transfer (CMT) Wire-Arc Additive Manufacturing (WAAM) - NASA Technical Reports Server (NTRS), дата звернення: 10.09.2025, https://ntrs.nasa.gov/citations/20240004534

4. Albannai, A. A Brief Review on The Common Defects in Wire Arc Additive Manufacturing. International Journal of Current Science Research and Review. – 2022. – Vol. 5 № 12. – P. 4556-4576. http://dx.doi.org/10.47191/ijcsrr/V5-i12-19

5. Polamuri, S.K., Chitral, S., Adapa, M.K., Nayak A., Kiran D.V. A strategic approach to minimize lack of fusion defects in wire arc additive manufacturing. Progress in Additive Manufacturing. – 2025. – №10. – P. 6965–6980. https://doi.org/10.1007/s40964-025-01020-9

6. Ahsan M.R.U., Cheepu M., Ashiri R., Kim T., Jeong C., Park Y. Mechanisms of weld pool flow and slag formation location in cold metal transfer (CMT) gas metal arc welding (GMAW). Welding in the World. – 2017. – №61. – P. 1275–1285. https://doi.org/10.1007/s40194-017-0489-y

7. Jae-Deuk Kim, Jae Won Kim, Joo Cheon, Yang-Do Kim, Changwook Ji. Effect of Shielding Gases on the Wire Arc Additive Manufacturability of 5 Cr – 4 Mo Tool Steel for Die Casting Mold Making. Korean Journal of Metals and Materials. – 2020. – №58. – P. 852-862. http://dx.doi.org/10.3365/KJMM.2020.58.12.852

8. Gurcik T., Kovanda K., Rohan P. Influence of shielding gas on geometrical quality of WAAM technology. 28th International Conference on Metallurgy and Materials (Brno). – 2019. – P. 715-721. http://dx.doi.org/10.37904/metal.2019.871

УДК 621.373.826:623.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ДІЄЮ ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ЛАЗЕРІВ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Бернацький А.В., Сіора О.В., Бондарєва В.І., Лукашенко В.А., Набок Т.М.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України

Дослідження впливу різних джерел лазерного випромінювання на неметалеві матеріали (карбон, склотекстоліт, гетинакс, пластик), з яких виготовляються конструктивні елементи безпілотних літальних апаратів (БПЛА), має надзвичайно важливе наукове й практичне значення. Ці матеріали відзначаються низькою питомою вагою, високою міцністю, діелектричними властивостями та відносно низькою собівартістю, що робить їх основою сучасних дронів різних класів. Водночас їхня взаємодія з лазерним випромінюванням характеризується складними механізмами, які залежать від довжини хвилі, потужності, режиму генерації та тривалості дії. Лазери

можуть викликати термічні та фотохімічні ефекти, що проявляються у вигляді абляції, утворення мікротріщин, розшарування шаруватих композитів або зміни структури полімерної матриці. Розуміння цих процесів дозволяє визначити критичні режими лазерного впливу, які забезпечують максимально ефективне пошкодження матеріалів при мінімальних витратах енергії. З позиції оборонних технологій така інформація є ключовою для розробки систем протидії БПЛА, що використовують лазерне ураження як високоточний метод нейтралізації. З іншого боку, отримані дані мають велике значення і для промисловості, оскільки оптимізація параметрів лазерної обробки відкриває можливості для високоякісного різання, свердління чи мікрообробки неметалевих композитів. Дослідження впливу різних типів лазерів(волоконних, твердотільних, газових чи діодних) створює основу для порівняльного аналізу їх ефективності. Отримані результати сприяють формуванню міждисциплінарних підходів, що поєднують фізику лазерів, матеріалознавство та військову інженерію.

Дослідження, опис яких наведено нижче, виконувались за фінансової підтримки Національним фондом досліджень України проекту № 2023.04/0166 «Дослідження впливу лазерного пучка на матеріали деталей БПЛА та обґрунтування технічних параметрів лазерного обладнання мобільного комплексу для боротьби з ними» за договором № 8/0166 від 03.03.2025 р.

При виконанні робіт на етапі 2025 року, на основі нового лазерного обладнання, придбаного за проєктом, було створено прототип лазерного модулю. Прототип складається з: волоконного лазеру «MAX MFSC-6000M» з потужністю до 6,0 кВт, виробництва компанії «Maxphotonics» (Китай); системи охолодження лазеру; оптичної головки; механізму переміщення та фіксації оптичної головки; механізму переміщення та фіксації зразків матеріалів (імітаторів деталей БПЛА) з карбону, склотекстоліту, гетинаксу та пластику. На створеному прототипі лазерного модулю було виконано експериментальні дослідження для відпрацювання положень методики розробленої на першому етапі виконання проєкту. Вказані дослідження виконані з урахуванням впливу зміни відстані від джерела лазерного випромінювання до об’єкта взаємодії з лазерним пучком. Результати досліджень порівнювались з результатами, одержаними на першому етапі проєкту з використанням випромінювання твердотільного Nd:YAG-лазеру «DY044» з потужністю випромінювання до 4,4 кВт, виробництва фірми «Rofin-Sinar» (Німеччина). За результатами досліджень виконано корегування та удосконалення положень методики визначення впливу параметрів лазерного випромінювання на деструкцію матеріалів, з яких виготовляються деталі БПЛА.

УДК 621.74

МОДИФІКУВАННЯ РОЗПЛАВІВ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ СТРУКТУРИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ

Фесенко М. А.[1], Фесенко А. М.[2]
([1]ДУІКТ, м. Київ, Україна) ([2]ДДМА, м. Краматорськ, Україна)
E-mail: fesmak@ukr.net; anatoly.fesenko@ukr.net

Технічний прогрес супроводжується постійним підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик, довговічності і надійності машин, механізмів, обладнання (устаткування) при одночасному зниженні їх собівартості і зменшенні затрат на експлуатацію, ремонт і обслуговування. А це можливо забезпечити в першу чергу шляхом розробки нових і суттєвого покращення існуючих металевих матеріалів (сплавів), які становлять основу конструкцій.

На сьогодні основним конструкційним матеріалом для виготовлення широкої номенклатури фасонних виливків для деталей технічних пристроїв залишається чавун, частка виробів з якого останні роки залишається на рівні 70% від загального світового випуску литва. Тому якістю і властивостями чавуну в значній мірі визначаються можливості вирішення важливих задач підвищення експлуатаційних характеристик технічних пристроїв.

Одним із ефективних, економічних і екологічних способів покращення структури і властивостей чавунних виливків є модифікувальна обробка базового розплаву. В залежності від мети при виготовленні виливків із чавуну на практиці використовується графітизувадьна, сфероїдизувальна і карбідостабілізувальна модифікувальна обробка розплаву чавуну. Графітизувальне модифікування частіш за все застосовується при виготовленні якісних виливків із сірого чавуну з метою зменшення його схильності до вибілення для одержання виливків з перлітною або ферито-перлітною структурою металевої матриці з рівномірно розподіленими включенням вільного графіту в об'ємі без карбідів заліза і інших легуючих елементів, в тому числі в тонкостінних виливках, а також з метою отримання однорідної структури в стінках різної товщини. Крім того таке модифікування часто використовується для комплексного модифікування при виготовленні виливків з високоміцних чавунів з кулястим та вермикулярним графітом після сфероїдизувального модифікування.

Сфероїдизувальне модифікування використовується частіш за все як обов'язкова технологічна операція при виготовленні виливків із високоміцних чавунів з кулястим або вермикулярним графітом.

Кадбідостабілізувальне модифікування проводиться з метою стабілізації карбідів для отримання в виливках структури білого чавуну без включень вільного графіту і підвищення твердості і зносостійкості чавуну.

В наш час розроблено і використовується на практиці значна кількість модифікувальних добавок і методів модифікування. Серед відомих методів модифікування при виговленні невеликих і середніх за масою виливків одним із ефективних, технологічно гнучких, економічних і екологічних є метод внутрішньоформового модифікування - INMOOLD – process.

При цьому способі модифікувальне оброблення розплаву здійснюється безпосередньо в момент заливки порожнини ливарної форми вихідним рідким чавуном, для чого в литниковій системі на шляху руху розплаву до виливка передбачена порожнина (спеціальний резервуар) - проміжна проточна реакційна камера, в яку перед збиранням форми завантажують розрахункову кількість зернистого, дробленого, порошкоподібного, гранульованого або брикетованого модифікатора. Під час заливання ливарної форми при оптимальному поєднанні температури і швидкості потоку рідкого чавуну в литниковій системі модифікатор в реакційній камері послідовно розчиняється (розплавляється) в потоці рідкого чавуну і, переміщаючись в об'єм виливка, засвоюється остаточно розплавом, змінюючи структуру чавуну в порівннні з базовим.

При внутрішньоформовому модифікуванні суттєво зменшується окислення модифікувальних елементів, скорочується до мінімуму час між введенням модифікатора в рідкий чавун і початком кристалізації останнього, що дозволяє виключити демодифікування розплаву, забезпечити максимальний ефект утворення кристалічних зародків і високий ступінь графітизації, підвищити коефіцієнт засвоєння модифікувальних елементів і скоротити витрату модифікуючих добавок, збільшити продуктивність праці, а також створює умови для автоматизації процесів модифікування та заливання. Крім того, впровадження цього методу у виробництво не потребує встановлення в цеху або на ливарній дільниці кількох плавильних агрегатів, додаткового обладнання чи інших агрегатів та спеціальних пристроїв.

Для забезпечення максимального ефекту від модифікування враховуючи високу чутливість IN-MOLD методу до багатьох факторів і параметрів процесу лиття і

модифікувальної обробки необхідно проведення комплексу досліджень для встановлення впливу основних і допоміжних факторів на структуру і властивості чавуну в виливках в конкретних умовах виробництва для конкретних виливків.

В роботі представлені узагальнені результати, отримані методами математичного і фізичного моделювання, а також проведенними чисельними експериментальними натурними дослідженнями обробки розплавів базових чавунів доевтектичного,схильного до кристалізації з вибіленням, і евтектичного, схильного до кристалізації з формуваннм включень вільного графіту, складу у литниково-модифікувальних системах різної конструкції комплексними сфероїдизувальними модифікаторами ФСМг7, ФСМг9, VL63(M), МПФ1+ФС75, Ni-Mg-Cu, НМг15, НМг19+ФС75, ФЦМ-5, Це48Ла28Мг3 + ФС75, графітизувальними добавками ФС75, ФС45, СБа-5, СК-20, а також карбідостабілізувальними добавками ФХ200, ФХ900, ФБ18, ФМн78, Мн95, ФЦМ-5, МЦ50Ж3, НМг15…НМг19, Ві1 при виробництві чавунних виливків з заданим комплексом механічних і експлуатаційних властивостей. Визначені оптимальні гранулометричні характеристики модифікувальних добавок, необхідна їх кількість для досягнення потрібної структури, а також встановлені раціональні конструкції литниково-живильних систем і типи (конструкції) протокових реакційних камер та температурно-часові режими заливання рідкого чавуну в ливарні форми. Запропоновані нові способи інтенсифікації засвоєння дрібнодисперсних, включаючи пилоподібні, фракцій модифікувальних добавок, що дозволяє зменшити безповоротні втрати дороговартісних модифікувальних добавок після їх подрібнення.

На основі результатів проведених досліджень розроблені технологічні рекомендації з виготовлення експериментальних виливків з потрібною (бажаною) структурою і властивостями, проведені випробування рекомендованих технологічних режимів при виготовленні окремих типових промислових виливків. З використанням розроблених технологічних рекомендацій отримані промислові виливки з бажаною первинною литою структурою і експлуатаційними властивостями.

Отримані результати досліджень і розроблені технологічні рекомендації можуть бути використані для подальшого впровадження в діючих ливарних цехах і дільницях промислових підприємств незалежної України для виготовлення якісних виливків масою до 100 – 250 кг.

УДК 669.74

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ЗМІНИ ФАЗОВОГО СКЛАДУ СИСТЕМИ C – Si – Mn – Fe НА ПРОЦЕС РОЗСИПАННЯ МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Піщенко К.А.[1], Борсук С.А.[1]
[1]Запорізький національний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

Відомо, що процес розсипання марганцевих та кремнієвих сплавів впливає на механічні, хімічні та фізичні властивості кінцевого продукту. Основними попередниками розсипання марганцевих та кремнієвих сплавів є порушення їх умов зберігання та транспортування. Розсипання феросплавів – це не лише технологічна, а й екологічна проблема. Впровадження нових технологій, автоматизації процесів, покращення методів зберігання та транспортування та екологічний контроль зменшують ризики, пов'язані з цим. Однак для повного вирішення проблеми потрібен комплексний підхід, включаючи покращення як виробничого процесу, так і методів управління екологічним впливом [1].

Метою роботи є аналіз залежності міцності марганцевих сплавів від вмісту хімічних елементів (Si, Mn, Fe, C) та їх фазового складу. Мета роботи досягається наступними завданнями:

1. Розглянути закономірності впливу зміни фазового складу системи C – Si – Mn – Fe на процес розсипання марганцевих сплавів.

2. Визначити вплив вмісту кремнію у марганцевих сплавах на значення мікротвердості.

Методологія досліджень підрозділяється на декілька етапів:

– виплавка зразків марганцевого сплаву;

– аналіз хімічного складу зразків марганцевого сплаву;

– виготовлення шлифів;

– металографічні дослідження;

– визначення мікротвердості зразків;

– аналіз та обробка даних.

Для проведення мікроаналізу з дослідного матеріалу готувалися циліндричні зразки шляхом шліфування, полірування та травлення для подальшого дослідження під мікроскопом. Готували зразки циліндрічної форми. Заточені зразки металу шліфувалися на чавунному крузі з послідовним застосуванням карборундового шліфа з зерном №14, №7, №5 та №3. Полірування проводили на окислі хрому з промиванням водою. Доведення зразку – шліфування на фетрі. В залежності від хімічного складу зразків використовували різні види травильних матеріалів:

– зразки з низьким вмістом кремнію (до 10 %) труїлися азотною кислотою щільністю 1,2 протягом 2–10 с.;

– для викококремністих зразків використовували суміш азотної та плавикової кислот із вмістом HF – 5%, HNO_3 – 34%; час протравлення 0,5–5 с.

В процесі травлення зразків з застосуванням азотної кислоти вона витравлювала границі зерен при низьких температурах (18–20°C), а при високих температурах виявляла поверхню зерен.

Для дослідження мікроструктури зразків використовувався оптичний мікроскоп типу МИМ-7. Для швидкої оцінки мікроструктури при металографічних дослідженнях використовувалися еталонні шкали мікроструктури, які наведені у відповідних стандартах та умовах із зазначенням реактивів для травлення і збільшень.

Мікротвердість зразків визначали на приладі МПГ-3 з навантаженням 20–50 г. Кожне значення мікротвердості є середнім з п’яти вимірів. Мікротвердість для евтектик показана в межах максимального та мінімального значень.

Хімічний склад лабораторних та промислових зразків визначався за допомогою хімічного аналізу, результати якого приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад лабораторних та промислових зразків

№ зразку	Масова частка, %				
	C	Si	Mn	Fe	Сума
№ 2	0,07	32,15	60,50	6,70	99,4
№ 2*	0,07	32,35	60,90	6,75	100,0
№ 3	0,08	28,3	60,75	9,73	98,86
№ 3*	0,08	28,6	61,60	9,80	100,0
№ 4	0,51	24,4	58,64	14,0	98,75
№ 4*	0,52	24,7	60,70	14,2	100,0
№ 5	2,32	18,51	59,18	19,66	99,62
№ 5*	2,33	18,55	59,25	18,70	100,0
№ 5**	-	19,10	60,70	20,20	100,0
№ 6	3,49	14,8	56,90	23,6	100,0

№ 6	-	14,9	60,70	24,4	100,0
№ 7	3,67	8,58	58,32	27,80	98,37
№ 7*	3,74	8,72	59,30	28,30	100,0
№ 7**	-	9,06	61,70	29,4	100,0
№ 8	3,68	4,80	57,86	33,73	100,0
№ 8*	4,40	2,30	93,30	-	100,0
№ 9	7,64	0,62	54,84	38,0	100,0
Зразок МнС17 промисловий	0,96	18,8	74,5	3,98	0,24
Зразок МнС17* промисловий	0,97	19,1	75,6	4,04	0,24
Зразок МнС17 промисловий з підвищеним вмістом заліза	1,55	17,9	69,50	10,2	0,25
Зразок МнСП промисловий	0,10	31,40	63,0	3,33	0,04

Примітка: * перерахунок на 100 %;
** розрахунковий хімічний склад зразку;
* ** хімічний склад твердого розчину

Результати металографічних досліджень приведені на рис. 1.

Приймаючи за основу розрахунку фазового складу дослідних зразків раціональний склад даних з'єднань з урахуванням термодинамічних констант і закону діючих мас отриманий склад фазових переходів приведено у таблиці 2.

Найбільшу твердість має силіцид (Mn, Fe)Si, що не містить впровадженого вуглецю. Пониження вмісту кремнію призводить до утворення силіцидів, в решітку яких впроваджується вуглець. Мікротвердість складних силіцидів $(Mn, Fe)_5Si_3$ з розчином вуглецю коливається в межах 900–1100 кг/мм^2.

Евтектика в зразках з 14–18% кремнію має різну мікротвердість порядку 900–1100 кг/мм^2.

Зразки, що складаються в основному з кристалів силіцидів $(Mn, Fe)_5Si$ і впровадженого в них вуглецю майже не змінюють своєї твердості, яка дорівнює 1215–1285 кг/мм^2.

Фазовий склад у зразків №8, №15, №20 та №23 ускладнюється. Збільшується мікротвердість кристалів (Mn, Fe)Si. У цих зразках відбувається утворення зерен карбідів подовженої форми, мікротвердість яких різко зростає до 1519–1670 кг/мм^2.







а – Шліф №2 (після травлення). Світла фаза – (Mn, Fe)Si, тамно-сіра смугаста фаза – Mn_5Si_3; б – Шліф №13 (після травлення). Дрібродисперсний евтектоїд, складений зі світлих кристалів $(Mn,Fe)_5Si_3$ і дрібних зерен силіцидів Mn_3Si та Fe_3Si; в – шліф №14 (після травлення). Основна фаза полягає з $(Mn,Fe)_5Si_3$, усередині якої розташовані світлі ділянки Mn_3Si. Посередині зерна – темні утворення. Видно чорні лусочки графіту; г – шліф №15 (після травлення) Світла фаза, що різко виділяється, складається з (Mn,Fe)3C. Дещо темніші подовжені кристали $(Mn,Fe)_5Si_3$. Темна неоднорідна евтектика складається з твердого розчину вуглецю в марганці і залізі

Рисунок 1 – Мікрофрактографії шліфів

Мікротвердість чистих карбідів дорівнює 1616 кг/мм^2. Промислові зразки феросилікомарганцю МнС17 мають підвищену мікротвердість за рахунок повільної кристалізації. Те ж саме відноситься і до феросилікомарганцю марки СМнП.

Вимір мікротвердості фаз підтвердив наявність карбідів в зразках №8, №15, №20 та №23. Мінімальна мікротвердість зафіксована у зразків №4 та №11, що складаються в основному з кристалів $(Mn, Fe)_5Si_3$ з впровадженнями в них вуглецю. Зразки цього складу надзвичайно крихкі.

Хімічний склад фазових складових звичайного та дослідного феросилікомарганцю приведено в таблиці 3.

Вплив вмісту кремнію у марганцевих сплавах на значення мікротвердості представлений на рис.2.

Таблиця 2 – Склад фазових переходів (після розрахунків)

№ зразку	FeSi	MnSi	Mn_5Si_3
№ 2	FeSi-10,5	MnSi-77,04	Mn_5Si_3-13,95
№ 5*	Fe_5Si_3-26,3	-	Mn_5Si_3-55,3
№ 5**	Fe_5Si_3-25,7	-	Mn_5Si_3-54,0
№ 6*	Fe_5Si_3-31,8	-	Mn_5Si_3-51,5
№ 6**	Fe_5Si_3-30,7	-	Mn_5Si_3-49,7
№ 6***	$(Fe,Mn)_5$-98,32	Mn_3Si-31,9	Mn_5Si_3-19,7
№ 7	$(Fe,Mn)_3$-1,68	-	-
№ 7**	Fe_3Si-37,1	-	Mn_5Si-66,6
	Fe_3Si-1,13	-	Mn_5Si-1,56
№ 8*	Fe_3Si-37,23	Si-1,3	-

Таблиця 3 – Хімічний склад фазових складових звичайного та дослідного

феросилікомарганцю

Сплав	(Mn, Fe)$_5$Si$_3$	в тому числі		$C_{впровадження}$	твердий розчин вуглецю в марганці	
		Mn_5Si_3	Fe_5Si_3		кількість, %	%C в розчині
МнС17 (звичайний)	81,40	76,20	5,20	0,78	17,50	1,03
МнС17 (дослідний)	76,30	63,00	13,30	0,67	22,18	3,98



Рисунок 2 – Залежність мікротвердості від вмісту кремнію в марганцевих сплавах

Висновки. Встановлено, що розсипання деяких сплавів системи C – Si – Mn – Fe пов'язано з утворенням карбідів марганцю і їх гідратацією. Гідратація карбідів марганцю призводить до порушення зв'язку між зернами силіцидів, та кінець кінцем, до руйнування структури зливка. Карбід марганцю Mn_3C утворюється в твердому розчині сплаву. Кількість твердого розчину залежить від повноти зв'язування марганцю в силіциди. Повнота зв'язування останнього визначається співвідношенням концентрації кремнію і заліза в сплаві. Підвищення концентрації заліза в марганцевому сплаві понад 10% веде до утворення карбіду $(Mn,Fe)_3C$, який не піддається гідратації. Процес гідратації Mn_3C супроводжується виділенням газоподібних продуктів і тепловим ефектом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Воденнікова О. С. Аналіз причин та наслідків розсипання та руйнування марганцевих та кремнієвих сплавів / О. С. Воденнікова, С. А. Воденников, В. Г. Коростін //Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід : VII Міжнародна конференція (Дніпро, 23–25 грудня 2024 р.). – Дніпро: Журфонд, 2024. – С. 93–96.

УДК 662.769.2:669.788

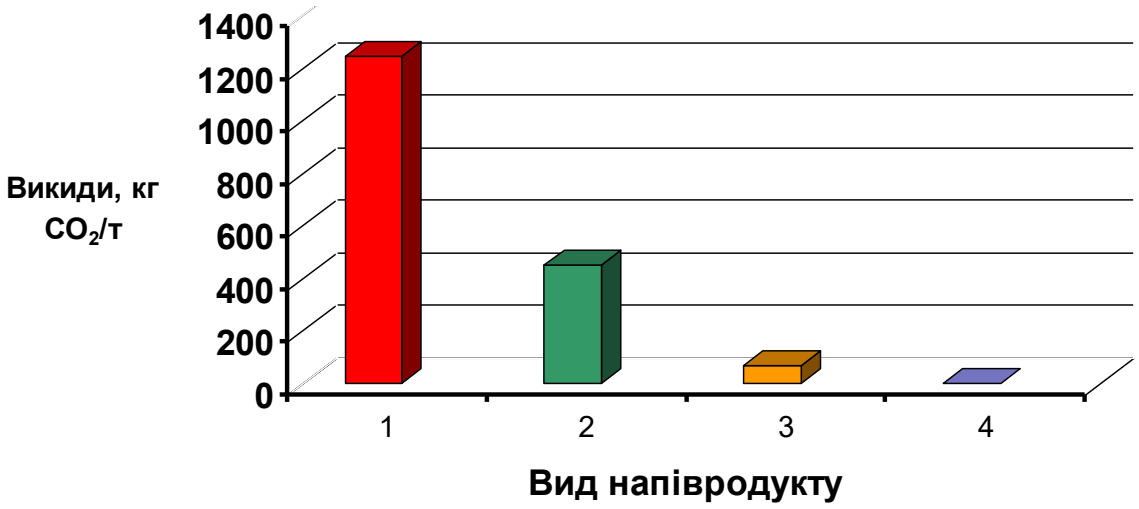
«ЗЕЛЕНА» МЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОГНОЗИ

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Піщенко К.А.[1]
[1]Запорізький національний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

Декарбонізація планети – одна з цілей, яку країни по всьому світу поставили на 2050 рік. Для досягнення цього, декарбонізація виробництва такого елемента, як зелений водень, є одним із ключових факторів. Європейський Союз планує розширити масштаби проєктів з відновлюваного водню та інвестувати в них мільярди євро [1]. Декарбонізація металургійної галузі є ключовим фактором для досягнення глобальних цілей щодо нульових викидів CO_2. Основними факторами, які сприятимуть інвестиціям в галузь та збільшенню споживання екологічно чистої сталі, є правове регулювання в поєднанні з ціновими стимулами. Так переробка 1 тонни металевого брухту скорочує 1,5 тонни викидів CO_2, а для брухту нержавіючої сталі цей показник зростає до 4 тонн, тобто щороку тільки європейська сталеливарна промисловість скорочує 132 мільйони тонн CO_2.

Таким чином, Європейська сталеливарна промисловість перебуває на шляху до скорочення викидів вуглецю на 55% до 2030р. і досягнення кліматичної нейтральності до 2050р. відповідно до кліматичних цілей ЄС (Green Deal) [2]. При цьому з 2026р. передбачається запровадження спеціального «вуглецевого податку» на імпортовану продукцію в розмірі близько €50 на тонну емісії CO_2 з подальшим його зростанням до 2030р. до €80−90, включаючи вихідні матеріали та енергоносії. Це складає в середньому 8−10% собівартості виплавки 1 т якісної сталі [3].

Так згідно даним компанії Primetals Technologies рівень викидів вуглекислого газу при виплавці 1 тони переробного чавуну досягає 1250 кг CO_2/т (рис. 1) [4].



1 – чавун; 2 – DRI (на основі CH_4); 3 – DRI (на основі H_2); 4 – металобрухт
Рисунок 1 – Рівень викидів вуглекислого газу при отриманні напівпродукту

В металургійному секторі рух з декарбонізації дуже помітний: найбільші інжинірингові організації та інститути включилися у розробку альтернативних методів виплавки та прокатування металів та сплавів, а деякі провідні виробники сталі (SSAB, Tata Steel, ArcelorMittal та інші) навіть розпочали випуск «зеленої сталі» на своїх активах

[5]. Розповсюджені проєкти зі створення підприємств, що працюють на металізованій сировині, виробленій прямим відновленням оксидів заліза воднем, отриманим за допомогою відновлюваних джерел енергії (вітру, сонцю, води та ін.). Безпосередньо на підприємствах SSAB, Nippon Steel, Thyssen Krupp, Voestalpine, Posco, Arcelor Mittal, British Steel та інших проєктуються і будуються виробничі лінії, що працюють за технологічними схемами, в основі яких лежить пряме відновлення заліза – DRI. Розглядаючи українську металургійну нішу слід відмітити, що на виробничих ділянках Метінвест спільно з фірмами Primetals Technologies і К1-МЕТ також планується розміщення обладнання для отримання металізованої сировини за технологією DRI з подальшою виплавкою сталі в електродугових печах [6].

Безпосередньо на теренах України понад десять років функціонує одне з сучасних та «зелених» підприємств Інтерпайп Сталь, на якому викиди CO_2 не перевищують 250 кг на тонну сталі [7]. Вплив на навколишнє середовище повністю мінімізовано ще й за рахунок встановлення на Інтерпайп Сталі сучасної системи газо- і пилоочистки. Вона уловлює більшість викидів шкідливих речовин і пилу в атмосферу. Всі викиди абсорбуються на фільтрах у гранули. При цьому проблема забруднення річки Дніпро вирішена завдяки впровадженню замкненої системи оборотного водопостачання. Інтерпайп Сталь не скидає промислові стоки в зовнішні водойми: вода очищається і повторно використовується на виробництві [8].

Міжнародний досвід свідчить, що взаємозв'язок між «зеленим» управлінням людськими ресурсами та екологічною ефективністю є позитивним через провадження «зелених» інновацій та «зеленої» культури як нового підходу до підвищення екологічної ефективності. Важливою є побудова інноваційної системи управління персоналом та «зеленої» корпоративної культури, яка впливає на підвищення екологічної ефективності підприємства [9].

Згідно прогнозу організації Transition Asia до 2030р. Китай може стати найбільшим виробником «зеленої» первинної сталі завдяки своїм конкурентним перевагам у відновлюваній електроенергетиці та виробництві «зеленого» водню [10].

Основним шляхом виробництва «зеленої» сталі обрана технологія DRI-EAF, коли сталь виробляється у електропечах із продуктів заліза прямого відновлення, що отримане за допомогою водню. В свою чергу водень має генеруватися шляхом електролізу з використанням води та електроенергії з відновлюваних джерел. Такий шлях обрали такі металургійні підприємства як ArcelorMittal (Люксембург), ThyssenKrupp (Німеччина), Saltzgitter (Німеччина). Так одним із відомих став проєкт переходу європейського сталеливарного сектору до вуглецевої нейтральності, який очолює шведська компанія H2 Green Steel (H2GS) [11]. Компанія H2 Green Steel близька до завершення будівництва першого у світі масштабного заводу з виробництва екологічно чистої сталі в Північній Швеції (м. Боден) [12], тим самим усуваючи майже всі викиди CO_2 від традиційного процесу виробництва сталі (рис. 2) [13].

Незважаючи на оптимістичні плани компанії «Posco International» (Республікою Корея) з впровадження «зеленої» металургії в Україні [14] слід все ж таки зауважити, що українські металургійні підприємства мають досить складне становище у сфері смартизації та декарбонізації виробництва. Основна причина цього полягає в старій виробничій інфраструктурі, обмежених «зелених» інвестиціях та недостатній увазі керівництва щодо нових підходів до формування культурних цифрових трансформацій та «зеленої» корпоративної культури [9], [15–17].

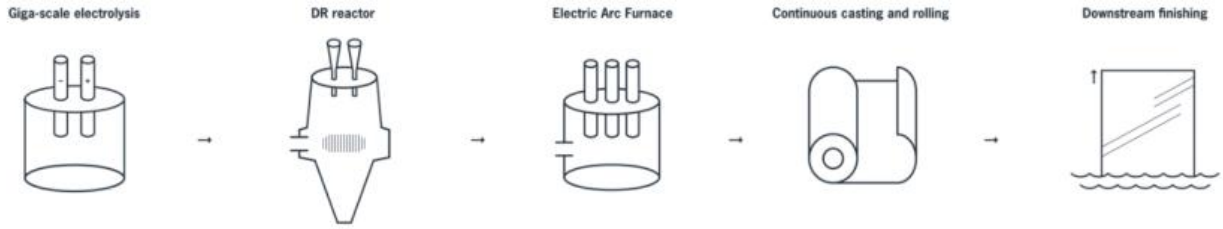


Рисунок 2 – Схема металургійного виробництва запропонована компанією H2 Green Steel [13]

Запровадження Європейським Союзом механізму вуглецевого коригування імпорту (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM (транскордонний тариф на викиди вуглецю)) штовхає українські компанії терміново інвестувати у скорочення вуглецевих викидів [18].

Висновки. Головна проблема світової металургійної промисловості полягає у тому, що вона є основним виробником CO_2. Так металургійні підприємства України, маючи застаріле обладнання, нестачу «зелених» інвестицій та недостатній увазі керівництва щодо нових підходів до формування культурних цифрових трансформацій та «зеленої» корпоративної культури гостро потребують модернізації виробництва з залученням передових європейських «зелених» технологій. Першочерговим завданням металургійної галузі виступає екологічна модернізація підприємств шляхом впровадження інноваційних технологій: використання електродугових печей, повторної переробки металобрухту, запровадження фільтраційних систем, перехід на замкнені цикли виробництва та інші.

Перспективи «зеленої» металургії пов'язані з необхідністю зменшення рівня викидів вуглекислого газу при виплавці 1 тони переробного чавуну, підвищення енергоефективності виробництва, перехід на відновлювані джерела енергії, а також розвиток вторинної переробки металу, що дозволить покращити екологічний стан країни та зменшити виснаження природних ресурсів.

Після війни українська металургійна галузь має бути відновлена і модернізована за сучасними екологічними стандартами (ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління, Євро-6 Стандарт для транспортних засобів).

ЛІТЕРАТУРА

1. Green hydrogen [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.kpi.kharkov.ua/eestc/2021/05/01/shho-take-zelenyj-voden/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

2. Декарбонізація металургії потребує регулювання та цінових стимулів – аналітик Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/news/dekarbonizaciya-metalurgii-potrebuie-reguljuvannya-ta-cinovih-stimuliv-analitik/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

3. Зелена сталь і перехід на водень: Як і навіщо рятувати українську металургію? URL: https://biz.nv.ua/ukr/experts/chi-vryatuye-zelena-stal-ukrajinsku-ekonomiku-ekspert-ocinyuye-perspektivi-metalurgiynoji-galuzi-50406528.html (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

4. Шляхи розвитку «зеленої металургії». Частина 2. Технології виробництва сталі. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva-stali/?srsltid=AfmBOory_8_tjZoqRb357f0EyS3EYIX1GAeDCvNOSf_beoGZZ3WVYfNj (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

5. Декарбонізація відбудови: металургія, цементна індустрія і енергоефективність

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukraine-oss.com/dekarbonizacziya-vidbudovy-metalurgiya-czementna-industriya-i-energoefektyvnist/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

6. Мельник С. Г. «Зелена» металургія на етапі переходу до вуглецевої нейтральності / С. Г. Мельник // Метал та лиття України. – 2022. – №1(328). – Т 30. – С. 16–27.

7. Інтерпайп Сталь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://interpipesteel.biz/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

8. Екологічна трансформація: як розвивається зелена металургія в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.investua.com.ua/ukrainian-news/ekologichna-transformaciia-iak-rozvivayetsia-zelena-metalyrgiia-v-ykrayini/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

9. Венгерська Н. С. Формування зеленої корпоративної культури підприємств сталеливарної промисловості в контексті смартизації та декарбонізації виробництва [Електронний ресурс] / Н. С. Венгерська // Економіка та суспільство. – 2023. – Вип. 53. – Режим доступу: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-102 (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

10. Китай може стати провідним виробником «зеленої» сталі до 2030 року – прогноз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/news/kitaj-mozhe-stati-providnim-virobnikom-zelenoi-stali-do-2030-roku-prognoz/ (дата звернення: 07.10.2024). – Назва з екрана.

11. H2 Green Steel: стартап, що формує майбутнє «зеленої» металургії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/posts/h2-green-steel-startap-shho-formuie-majbutnie-zelenoi-metalurgii/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

12. H2 Green Steel залучила €4,75 млрд нового фінансування для проєкту у Бодені [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/news/h2-green-steel-zaluchila-e4-75-mlrd-novogo-finansuvannya-dlya-proiektu-u-bodeni/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

13. H2 Green Steel Steel – Sweden [Електронний ресурс]. – Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oecd.org//content/dam/oecd/en/about/programmes/cefim/green-hydrogen/H2-green-steel-case-study.pdf (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

14. Україна спільно з Республікою Корея розвиватиме проекти в галузях зеленої металургії та енергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-spilno-z-respublikoiu-koreia-rozvyvatyme-proekty-v-haluziakh-zelenoi-metalurhii-ta-enerhetyky (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

15. Кучеренко М. А. «Зелена» металургія: проблеми, перспективи та прогнози / А. М. Кучеренко, К. А. Піщенко, О. С. Воденнікова // Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки: І всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти (Запоріжжя, 16–18 жовтня 2024р.). – Запоріжжя: ЗНУ, 2024. – С. 482–485.

16. Кучеренко М. А. «Зелена» металургія: перспективи та проблеми / А. М. Кучеренко, К. А. Піщенко, О. С. Воденнікова // Наука і сталий розвиток транспорту 2024: збірник тез доповіді всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених (Дніпро, 27 листопада 2024р.). – Дніпро : УДУНТ, 2024. – Т. ІІІ – С. 125–126.

17. Vodennikova O. S. «GREEN» METALLURGY: PROBLEMS, PROSPECTS AND FORECASTS / O. S. Vodennikova, K. A. Pishchenko // International scientific conference «MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). –Riga: Baltija Publishing, 2024. –Т. 1. – С. 27–30.

18. Сім викликів української металургії в 2025 році та погляд у майбутнє [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://gmk.center/ua/opinion/sim-viklikiv-ukrainskoi-metalurgii-v-2025-roci-ta-poglyad-u-majbutnie/ (дата звернення: 12.09.2025). – Назва з екрана.

УДК 620.22:620.3]:7+669]:004.9

НАНОАРТ ТА МЕТАЛУРГІЯ: ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ОБРОБЦІ МІКРО-ТА МАКРОСТРУКТУР ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Воденнікова О.С.[1], Воденніков С.А.[2], Піщенко К.А.[1]
[1]Запорізький національний університет
[2]Національний університет «Запорізька політехніка»

На сьогодні одним із важливих напрямків розвитку інформатизації освіти є нові комп'ютерні технології, перевагами яких є інтерактивність, інтенсифікація процесу навчання, зворотний зв'язок [1]. Нові інформаційні освітні технології на основі комп'ютерних засобів дозволяють значно підвищити ефективність навчання [2]. Найбільшого практичного застосування інформаційні технології отримали в процесі онлайн-освіти, дозволяючи візуалізувати складні поняття, моделювати процеси, використовувати інтерактивні завдання та тести, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу [3], підвищенню рівня знань здобувачів вищої освіти і якості викладання в ЗВО [4].

Саме тому актуальним стає пошук нових альтернативних практичних та лабораторних робіт, що зможуть поєднати в собі теоретичні та практичні складові за спеціальністю і застосовуватися під час дистанційного навчання. При формуванні у здобувачів вищої освіти навичок самостійної наукової діяльності та в межах студентських наукових гуртків доцільним є організація їх самостійної роботи завдяки застосуванню сучасних інформаційно-комунікативних технологій.

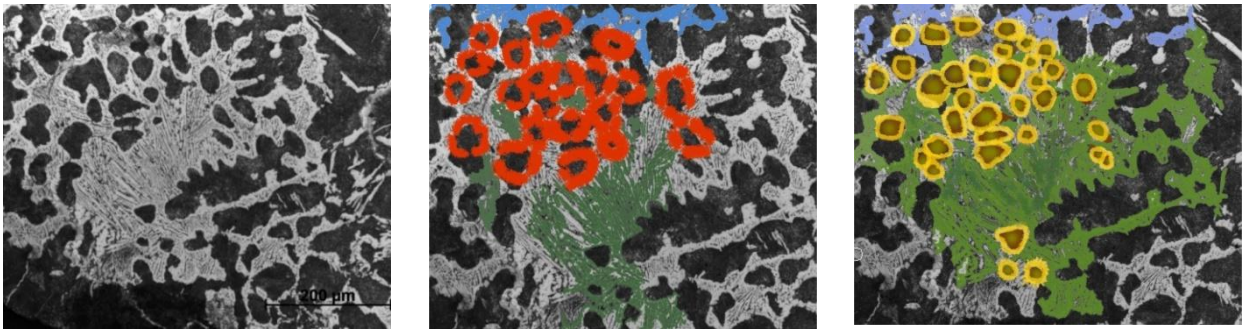
Так безпосередньо в Запорізькому національному університеті з метою розповсюдження та популяризації наукових знань у студентському середовищі, розвитку наукового мислення і творчого підходу до виконання теоретичних і прикладних проблем для здобувачів вищої освіти за спеціальністю G10 «Металургія» функціонує студентська наукова проблемна група «Сучасні технології підвищення ефективності виплавки та обробки чорних металів та сплавів» , в межах якої здобувачі опановують сучасні інформативно-комунікативні технології, розкриваючи свій науковий і творчий потенціал. В межах роботи студентської наукової проблемної групи виконуються роботи, присвячені використанню інформаційних технологій при обробці мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів. Поєднання теоретичних та практичних знань з основ матеріалознавства і металургії, а також творчій підхід до вирішення поставленої задачі дав змогу зародженню наукової роботи за темою «НаноАрт і металургія».

Метою роботи є дослідити можливість використання сучасних інформаційних технологій в освітньому процесі, зокрема в науковій роботі при обробці мікро-та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів; показати важливість створення зображень НаноАрт як демонстрації глядачеві можливостей техніки зі створення мікроскопічних арт-об'єктів.

Створення зображення у стилі НаноАрт відбувається у три етапи: синтез наноструктури (наноматеріалу); дослідження мікро- та макроструктури чорних та кольорових металів і сплавів з отриманням зображення високої якості; «розфарбування» отриманого зображення НаноАрт за допомогою графічного редактора. В якості графічних

редакторів можливим є використання як піксельної графіки (Microsoft Paint, Adobe Photoshop CS), так і векторної графіки (Adobe Illustrator CS, Microsoft Map, CorelDraw) [5, 6].

При «розфарбуванні» отриманого зображення головним залишається творчій підхід автора НаноАрт. З однієї вихідної структури автор (або колективом авторів) може побачити різні зображення НаноАрт. Окрім зміни кольору та відтінків зображення також можуть відбуватися домалювання або видалення об'єктів. Слід зазначити, що створення зображення НаноАрт – дуже клопітлива та авторська робота, яка займає не одну годину. За основу (вихідний зразок) зображення НаноАрт може бути взята або наноструктура метеріалу, отримана як автором (або колективом авторів) самостійно або залучена з наукових робіт інших авторів (при цьому з метою не порушення авторських прав слід зазначити посилання на першоджерело наноструктури, що використовується). Кожне зображення НаноАрт має свою назву та до неї може бути доданий його стислий опис. Безпосередньо зміна кольору об'єкту НаноАрт може дати змогу побачити різні зображення НаноАрт: наприклад, зміна кольору квітів з червоного на жовтий перетворює НаноАрт «Маки» (рис. 1а) на НаноАрт «Соняшники» (рис. 1б).



а б в

а – первісна структура [7]; б – НаноАрт «Маки»; в – НаноАрт «Соняшники»

Рисунок 1 – НаноАрт, створений на прикладі доевтектичної структури, отриманої шляхом переплавлення та навуглецювання в рідкому стані: перліт і трансформований ледебурит

Для «розфарбування» вихідної структури матеріалу використовували графічний редактор Paint 3D . Чорно-біле зображення «розфарбувується» згідно творчого погляду автора. Отримані зображення НаноАрт представлені на рис. 2–рис. 4.

НаноАрт «Дикий пес» (рис. 2) зображає собаку як символ вірності, відданості, пильності, дружби та надійної охорони. Так Пес Патрон є символом українських сил гуманітарного розмінування, уособлюючи хоробрість та допомогу.

Кішка як символ домашнього затишку, родючості та жіночності знайшла відображення у НаноАрт «Кішка», який був створений на прикладі мікроструктури сталі марки 08кп (рис. 3).

Найчастіше серце асоціюється з любов'ю та відданістю, але також може означати вірність, дружбу, доброту, сміливість, життя. Саме тому НаноАрт «Химерне серце» (рис. 4) наближає нас до розуміння значимості людського життя («Поки б'ється серце, надію втрачати не можна»).

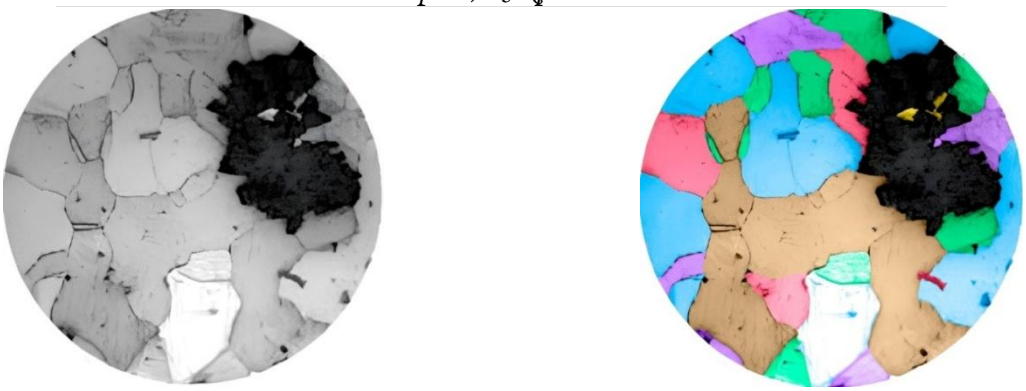


Рисунок 2 – НаноАрт «Дикий пес», створений на прикладі мікроструктури чавуну марки КЧ 35-10

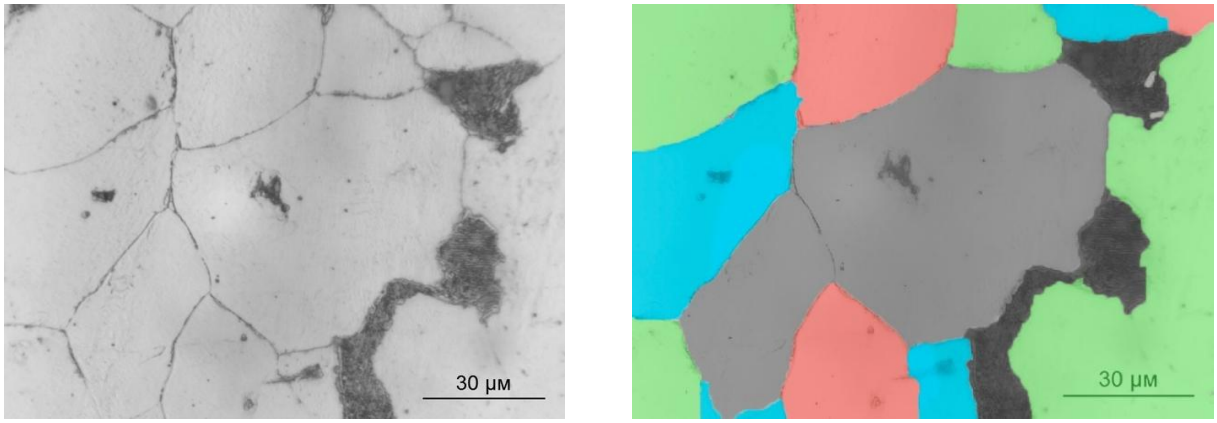


Рисунок 3 – НаноАрт «Кішка», створений на прикладі мікроструктури сталі марки 08кп

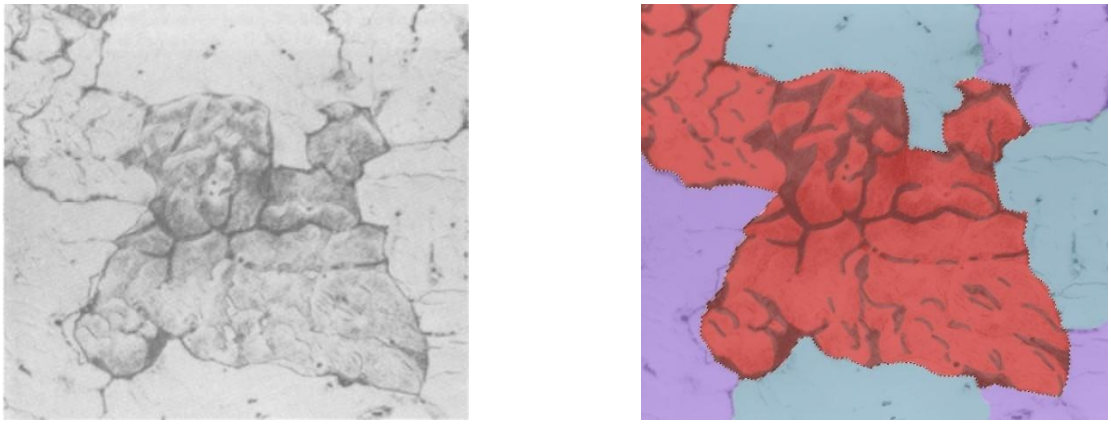


Рисунок 4 – НаноАрт «Химерне серце», створений на прикладі мікроструктури алюмінієвого сплаву марки Д712-Ф

Висновки. В умовах модернізації вищої освіти в Україні особливого значення набуває впровадження сучасних інформаційно-комунікативних технологій в освітній процес ЗВО. Ґрунтуючись на принципах цифрової трансформації освіти використання сучасних інтернет-технологій в освітньому процесі дасть змогу: впровадження онлайн-навчання (або дистанційного навчання); інтенсифікувати освітній процес, зробити його мобільним, диференційованим та пристосованим до реалій сучасності; автоматизувати процес навчання (систематизувати навчальні матеріали і дозволити виконувати завдання максимально швидко і легко); розвивати цифрові навички як у здобувачів вищої освіти, так і у викладачів ЗВО; впроваджувати нові способи прийняття рішень на основі цифрових даних та інші.

В сьогоденних реаліях дистанційного навчання в ЗВО значним для освітнього процесу стає пошук нових альтернативних практичних та лабораторних робіт, що зможуть поєднати в собі теоретичні та практичні складові за спеціальністю.

Так для здобувачів вищої освіти за спеціальністю G10 «Металургія» пропонується взамін проведення в умовах лабораторій традиційних лабораторних робіт з виплавки та обробки чорних металів та сплавів (які не має можливості проводити в прифронтових містах через воєнний стан та високу вартість електроенергії) виконання як альтернативної роботи наукової роботи «НаноАрт і металургія», яка є поєднанням науки і мистецтва через дослідження мікро- та макроструктур чорних та кольорових металів і сплавів. Поєднання мистецтва та металургії у вигляді зображень НаноАрт створюються унікальні картини, що демонструють красу науки та її творчий потенціал.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дядюн С. В. Використання інформаційних технологій в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/131.pdf (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

2. Dyadun S. V. Implementation of Information and Communication Technologies in the Educational Process / S. V. Dyadun // Проблеми сучасної освіти : збірник науково-методичних праць. – 2020. – №11. – С. 114–125.

3. Роль інформаційних технологій у сучасному освітньому просторі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ituniver.com/blog/rol-informacijnih-tehnologij-u-suchasnomu-osvitnomu-prostori (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

4. Дослідження інформаційних технологій в освіті [Електронний ресурс] / В. Кушнаренко [та ін.] // BMC-2020: International Scientific-Practical Conference of young scientists «Build-Master-Class-2020». – Kyiv. – 2020. – Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10 (дата звернення: 05.09.2025). – Назва з екрана.

5. НаноАрт та металургія : симбіоз мистецтва та технологій під час війни / О. С. Воденнікова [та ін.] // Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2024 : XVI Міжнародна науково-технічна конференція (Київ, 25–26 квітня 2024р.). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – С. 97–102.

6. НаноАрт та металургія : застосування інформаційних технологій при обробці макроструктур металів та сплавів / К. А. Піщенко [та ін.] // Наука і сталий розвиток транспорту 2024 : збірник тез доповіді всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених (Дніпро, 27 листопада 2024р.). – Дніпро: УДУНТ, 2024. – Т. ІІ. – С. 94–95.

7. Adrian Wrona. The Production of High Carbon Steel Directly in Bloomery Process: Theoretical Bases and Metallographic Analyses of the Experiments Results [Електронний ресурс] / Adrian Wrona // EXARC Journal. – 2023. – Issueu 2. – Режим доступу: https://exarc.net/issue-2013-2/ea/production-high-carbon-steel-directly-bloomery-process-theoretical-bases-and-metallographic-analyses (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

УДК 620.18:004.9

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ В ПРОЦЕСАХ ПОШАРОВОГО УТВОРЕННЯ

Григоренко Я.С., Дмитрієв Д.О.
Херсонський національний технічний університет

У сучасному машинобудуванні одним із ключових напрямів розвитку є підвищення якості металевих виробів, що виготовляються за технологіями пошарового утворення. Точність геометричних параметрів, міцність та надійність готових деталей безпосередньо залежать від контролю процесів формування на кожному етапі. Традиційні методи оцінки якості не завжди забезпечують достатню швидкість і гнучкість, тому актуальним стає впровадження інтелектуальних технологій, здатних автоматично визначати характеристики металевих виробів в процесах пошарового утворення, аналізувати відхилення та прогнозувати можливі дефекти.

Для вирішення задачі визначення характеристик якості важливу роль відіграє спеціалізоване ПЗ для аналізу зображень. Серед найбільш уживаних:
JMicroVision — це кросплатформенне програмне забезпечення для аналізу зображень, яке дозволяє вимірювати геометричні параметри, досліджувати мікроструктури, проводити сегментацію, застосовувати фільтри та отримувати кількісні дані з мікроскопічних зображень. [1]

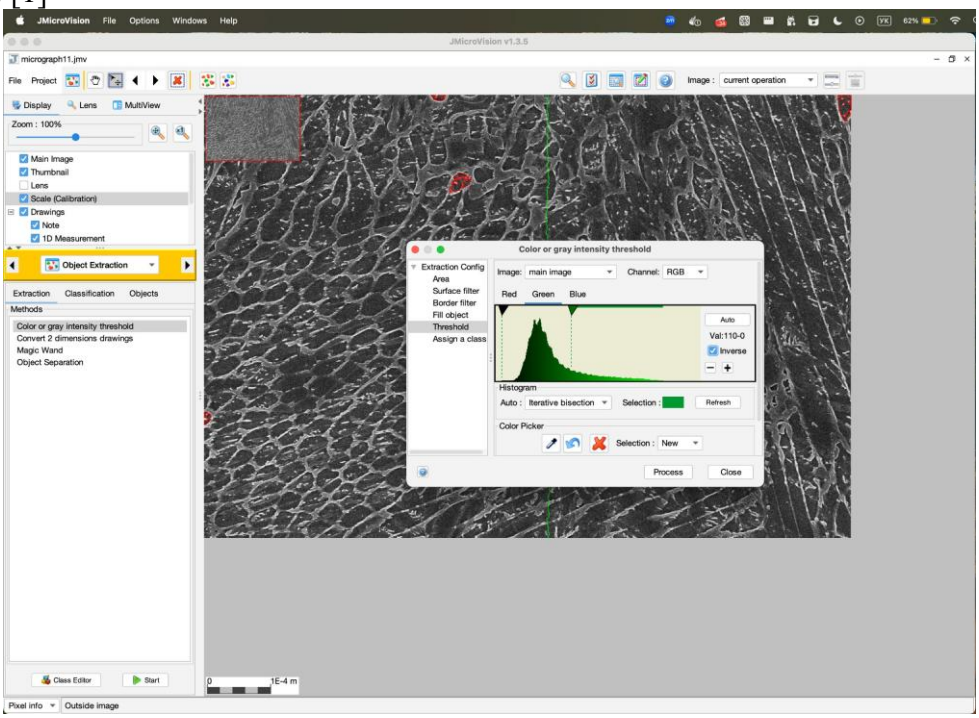


Рисунок 1 - Середовище JMicrovision

ImageJ і дистрибутив Fiji (Fiji Is Just ImageJ) — модульна платформа з широкою екосистемою плагінів, макросів і пакетної обробки.

Endrov — середовище для багатовимірних (3D/час/багатоканальних) даних.

OpenCV та VXL — це насамперед бібліотеки комп'ютерного зору, які дають змогу будувати власні конвеєри сегментації, виділення ознак і контролю якості.

UTHSCSA ImageTool — легковаговий пакет для калібрування, вимірювань і базового морфометричного аналізу (нині фактично не підтримується).

NEXSYS Grain Size Analysis Tools (GSAT) — відкрите ПЗ, розроблене в NIST для автоматизованого визначення середнього розміру зерен у металевих матеріалах. Забезпечує сегментацію меж зерен, використання класичних методик (зокрема методу перетинів) та статистичний аналіз мікроструктури.

ImageExpert™ Pro — промислово орієнтоване ПЗ для кількісної металографії: визначення часток фаз, розмірів зерен, пористості, неметалевих включень, глибини зневуглецювання, генерація звітів тощо.

Аналізатор дозволяє отримувати широкий спектр геометричних параметрів елементів структури, найбільш важливі з яких – відсоткові частки складових, площі, периметри, мінімальні, максимальні і середні діаметри, параметри форми і витягнутості об'єктів, характеристики їх розподілу (зокрема ареальні діаграми і діаграми вільних відстаней, гістограми міжцентрових відстаней і відстаней між об'єктами), характеристики анізотропії структур і т.д. Отримувані характеристики доступні як для кожного об'єкта окремо, так і у вигляді їх статистичної вибірки [2].

Окремим важливим напрямом контролю якості є фрактографічні дослідження зламів металів. Вони дозволяють вивчати не лише мікроструктуру, а й рельєф поверхні руйнування. За формою та особливостями зерен на зламі можна визначати умови руйнування, наявність дефектів та причини відмови виробу. Метод фрактографії широко застосовується для аналізу зламів після 3D-друку чи експлуатаційного зношування, коли деталь навмисно руйнується для дослідження структури зламу. Виділяють різні типи зламів: міжкристалічні, внутрішньокристалічні, в'язкі, крихкі, втомні, корозійно-механічні тощо.

Наприклад, у роботі [3] досліджували зразки із титану сплаву Ti-6Al-4V, надруковані методом SLM. Статистичний аналіз мікроструктури показав високу пористість, яка значно знижувала пластичність виробів; шляхом корекції параметрів друку та зменшення пор зразки отримали покращені механічні властивості.

Використання фрактографії в поєднанні з мікроструктурним аналізом створює потужний інструмент для діагностики дефектів, удосконалення технологій 3D-друку, підвищення надійності та ресурсів роботи металевих виробів.

Використання зазначених інструментів створює основу для розробки інтелектуальних технологій, що здатні поєднувати алгоритмічну обробку даних із методами штучного інтелекту для підвищення ефективності контролю якості металевих виробів. [4]

ЛІТЕРАТУРА

1.Чурсов С. В. Механічні властивості матеріалів пневматичних шин при накопиченні пошкоджень: дис. … канд. техн. наук. Херсон: Херсонський національний технічний університет, 2024. 197 с.
https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0e2218e8-7e13-4a89-84a8-d2d438d1dffb /content

2.Холявко В. В., Владимирський І. А., Жабинська О. О. *Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів*. Київ: Центр учбової літератури, 2016, 156.
https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0e2218e8-7e13-4a89-84a8-d2d438d1dffb /content

3.Metallographic and Fractographic Evaluation of 3D-Printed Titanium Samples to Eliminate Unsatisfactory Mechanical Properties (M. Fousová et al.,
2017) https://www.scientific.net/SSP.270.212

4.Yeshiwas, F. B., Dagnaw, Y. D., & Molla, S. Y. (2025). A review article on the assessment of additive manufacturing. Journal of Materials Science: Materials in Engineering, 7(1), 306.
https://jmsg.springeropen.com/articles/10.1186/s40712-025-00306-8?utm_source=ch atgpt.com

СЕКЦІЯ 5
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ В ГАЛУЗІ ТРАНСПОРТУ І ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ»

УДК 343

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ТОВАРОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Войтович О.А., Ткач В.О.
Херсонський національний технічний університет

Внаслідок збройної агресії російської федерації у зонах активних бойових дій (і не тільки), під час обстрілів, ракетної та ін. небезпеки, під час повітряних тривог ускладняється, а подекуди стає взагалі неможливим технічний огляд колісних транспортних засобів (КТЗ) під час дорожньо-транспортних пригод (ДТП). В таких випадках доволі складним практичним завданням для експертів стає проведення судових транспортно-товарознавчих експертиз по оцінці КТЗ, пошкоджених під час ДТП, коли вирішуються питання визначення ринкової вартості, вартості відновлювального ремонту та вартості матеріального збитку завданого власнику КТЗ. Насамперед ускладнення полягає в неможливості здійснення експертного огляду КТЗ на предмет проведення його ідентифікації, визначення технічного стану, комплектації, комплеткності, показника пробігу згідно лічильника одометра та інших даних потрібних для вирішення поставлених на експертизу питань.

Ідентифікація, як перший етап проведення експертизи, є основою для проведення експертизи зі встановлення вартості КТЗ. Ідентифікація КТЗ під час проведення авто-товарознавчої експертизи – це встановлення відповідності характеристик, ознак певного КТЗ (тип, модель, версія, рік виготовлення, робочий об'єм двигуна, комплектність, повна маса тощо) даним виробника [1]. Ідентифікація транспортного засобу відбувається шляхом ознайомлення з ідентифікаційним номером, нанесеним в салоні на підсилювачі між задніми сидіннями, або шляхом огляду заводської таблички, розташованої на центральній правій кузовній стійці транспортного засобу в нижній частині [3].

Призначення слідчими органами експертиз по питаннях визначення вартості КТЗ та розміру матеріального збитку заподіяного власнику КТЗ, без представлення об’єкту дослідження для технічного огляду, обумовлено насамперед такими обставинами, як: повне знищення об’єкту дослідження; знаходження об’єкту дослідження безпосередньо в зоні бойових дій або на тимчасово непідконтрольній території України; знаходження об’єкту дослідження за межами території України; об’єкт дослідження на момент призначення експертизи є частково або повністю відновлено.

Для фіксації отриманих даних застосовуються як вербальні методи (запис тексту на папері, запис з допомогою диктофона), і зорові образи (складання важливих, кінематичних та інших схем, фотографування, відеозапис тощо). Фотозйомка є одним із ефективних засобів фіксації доказової інформації. Отримані фотографії дозволяють найбільш точно зафіксувати стан КТЗ (рис. 1), його зовнішній вигляд та властивості, щоб наочно сприйняти відбите. Фотографії забезпечують змогу безпосередньо вивчати зафіксовані об’єкти, що може дозволити неодноразово повертатися до їхнього вивчення [4].

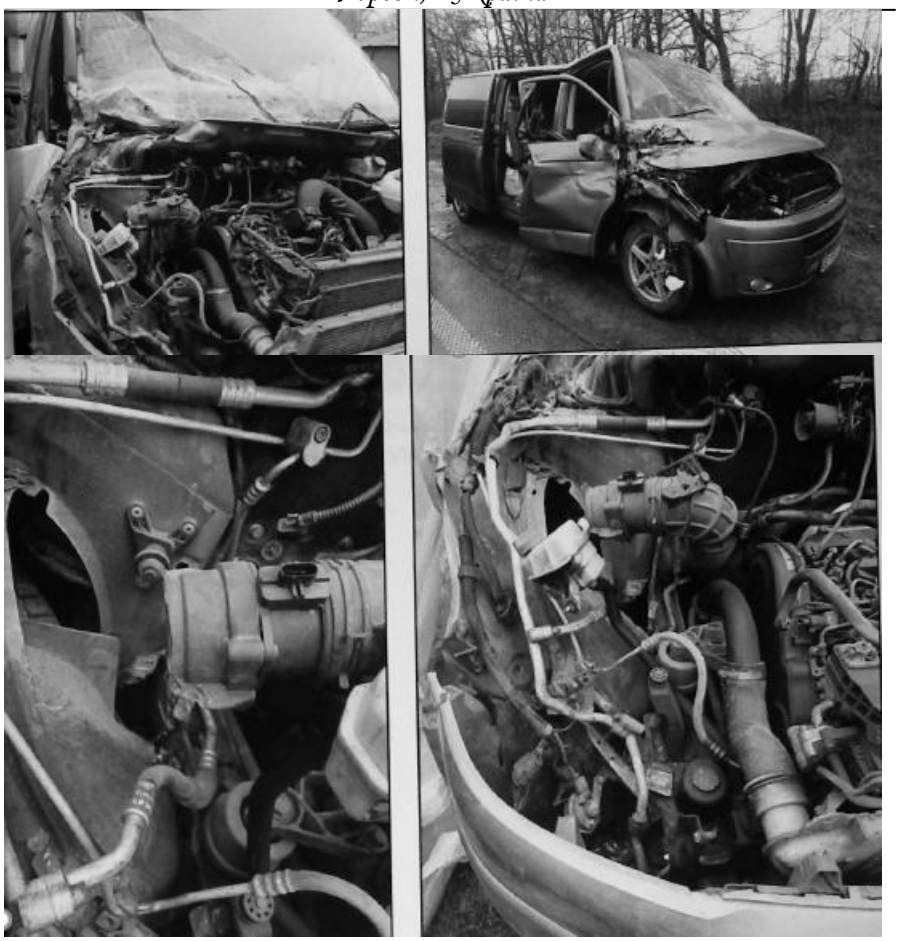


Рисунок 1. Фотозйомка пошкодженого КТЗ внаслідок ДТП

Проаналізовано процеси організації та проведення транспортно-товарознавчих експертиз у випадках, коли технічний огляд транспортного засобу неможливий. Зазначено використання методичних рекомендацій, що дозволяють проводити експертизу за допомогою фотоматеріалів, документів та інших непрямих даних відповідно до чинних нормативно-правових актів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика товарознавчої експертизи та оцінки колісних транспортних засобів: затверджено наказом Міністерства юстиції України № 142/5 від 24.01.2003 р. Київ, 2003. 56 с.

2. Методика визначення обсягу ремонтних дій при встановленні розміру матеріального збитку, заподіяного власнику колісного транспортного засобу. Реєстраційний код у Реєстрі методик проведення судових експертиз – 12.2.03, дата прийняття рішення про державну реєстрацію – 12.09.2014р.

3. Журавльова М. Особливості ідентифікації транспортних засобів, пошкоджених внаслідок збройної агресії РФ, з метою визначення розміру завданих збитків / М. Журавльова, М. Панченко, В. Хоменко // Досвід і проблеми судово-експертної діяльності в умовах воєнного стану в Україні: матеріали всеукраїнської наук.-практ. конф. (Львів, Київ, Одеса 28 вересня 2023 року): тези доповідей / відп. ред. Роман Заяць, Юрій Чечіль, Дмитро Кішко – Львів : Растр-7, 2023. – С 87-89.

4. Лук'янова В.О. Особливості огляду транспортного засобу як об'єкта судової транспортно-товарознавчої експертизи з метою визначення шкоди та відшкодування збитків, завданих Україні та її громадянам внаслідок збройної агресії Російської федерації / В.О. Лук'янова, С.О. Бузина, В.О. Бушмін, Є.О. Царинний // Проблематика

документального оформлення, визначення шкоди та відшкодування збитків, завданих Україні та її громадянам внаслідок збройної агресії Російської Федерації : тези наук.-практ. конф. (м. Харків, 22 червня 2022 р.). – Харків : НЮУ імені Ярослава Мудрого, 2022. – С. 132 Електронне наукове видання. https://nauka.nlu.edu.ua/nauka/. ISBN 978-617-8198-01-5

УДК 677.07.004.12

ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ACC АВТОМОБІЛЯ

Єдинович М.Б., Криворучко Б.В., Кузьміна Т.О.
Херсонський національний технічний університет

Адаптивний круїз-контроль ACC (Adaptive Cruise Control) – це підсистема системи ADAS (Advanced Driver-Assistance System), яка окрім можливостей стандартного круїз-контролю, також стежить за відстанню до автомобіля, що їде попереду. Використовуючи радар або лазер ACC здатна не тільки підтримувати задану водієм швидкість руху, але й автоматично контролювати дистанцію до автомобілів, що йдуть попереду, і при необхідності знижувати швидкість, щоби уникнути зближення з іншими автотранспортними засобами. [1].

У дослідженні [2] було виявлено, що система ACC має певний ризик зіткнення ззаду при слідуванні за іншими транспортними засобами. Крім того, такі недоліки безпеки системи ACC можуть призвести до серйозних наслідків.

Мережа Петрі – це графічна формальна модель, яка може інтуїтивно розкривати суть процесу роботи складних паралельних систем, таких як системи ACC [3]. Мережі Петрі можуть не тільки ієрархічно зображати структуру системи, але й інтуїтивно та динамічно відображати явища паралелізму та конфлікту в процесі роботи системи [4].

На рисунку 1 показано регулювання швидкості та відстані системою ACC під час процесу слідування за транспортним засобом. Цей процес по суті є синхронізацією наступного транспортного засобу з переднім транспортним засобом. Щоби підтримувати відносно постійну відстань між двома транспортними засобами, наступний транспортний засіб повинен виконати те саме коригування швидкості, що й передній транспортний засіб. Ступінь синхронізації між двома безпосередньо впливає на ризик зіткнення ззаду. Якщо синхронізація процесу висока, відстань між двома транспортними засобами буде змінюватися в межах постійного діапазону. В іншому випадку зміна відстані між двома транспортними засобами є надзвичайно різкою, що ймовірно може призвести до зіткнення. Властивості та структура мереж Петрі можуть відображати паралелізм та синхронний зв'язок систем, що дуже підходить для моделювання цього процесу [5].

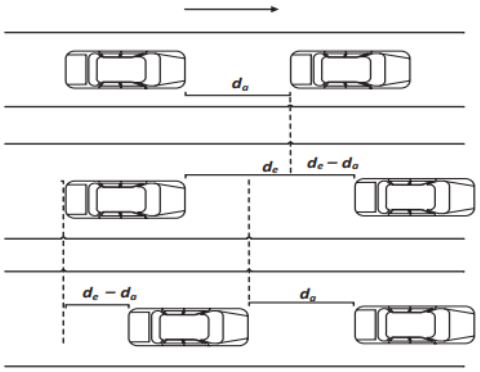


Рисунок 1 – Схематична діаграма ACC

Правила моделювання були сформульовані наступним чином:

- вершини в мережі Петрі використовується для представлення стану різниці швидкостей між двома транспортними засобами або різниці між фактичною та безпечною відстанню;
- перехід у мережі Петрі використовується для представлення перемикання станів транспортного засобу під час процесу слідування;
- дуги в мережі Петрі використовуються для представлення передачі інформації про синхронізацію під час процесу слідування.

Відповідно можна представити модель системи АСС, в якій основні елементи та їх значення показані в таблиці 2.1. У поздовжньому діапазоні основними діями транспортного засобу є прискорення та уповільнення. Тому ділимо стани транспортного засобу на три стани:

- низька швидкість;
- буферизація;
- висока швидкість.

Таблиця 2.1 – Перелік елементів мережі Петрі для системи АСС

Елемент	Тип	Значення
S0	Вузол	Стан низької швидкості переднього транспортного засобу
S1	Вузол	Стан буфера
S2	Вузол	Стан високої швидкості переднього транспортного засобу
S3	Вузол	Сигнал прискорення
S4	Вузол	Сигнал уповільнення
S5	Вузол	Стан низької швидкості поточного транспортного засобу
S6	Вузол	Стан буфера
S7	Вузол	Стан високої швидкості поточного транспортного засобу
T0	Перехід	Уповільнити
T1	Перехід	Уповільнити
T2	Перехід	Прискорити
T3	Перехід	Прискорити
T4	Перехід	Уповільнити

Коли транспортний засіб переходить зі стану низької швидкості до стану високої швидкості, він повинен пройти через стан буфера. Аналогічно, коли транспортний засіб переходить зі стану високої швидкості до стану низької швидкості, він також повинен пройти через стан буфера.

На рисунку 2.2 моделі переднього та поточного транспортних засобів з'єднані сигнальними вузлами S3 та S4.

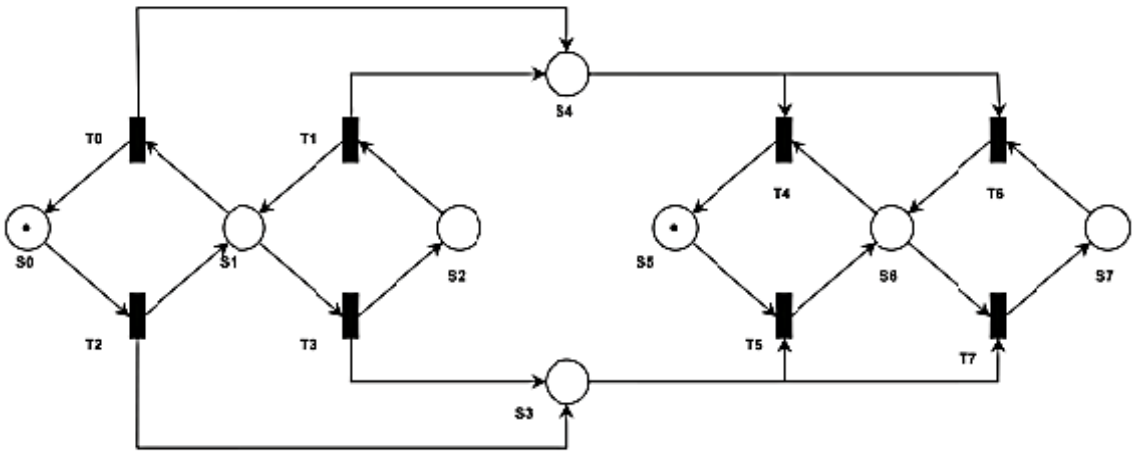


Рисунок 2.2 – Мережа Петрі для системи АСС

У цей час передній транспортний засіб знаходиться в стані низької швидкості, і перехід T2 може спрацювати, що означає, що передній транспортний засіб може прискоритися до стану високої швидкості. Після спрацьовування переходу T2 передній транспортний засіб завершує прискорення, і вузол S3 (сигнал прискорення) отримує маркер. Маркер у S3 переводить перехід T5 в увімкнений стан, що вказує на те, що поточний транспортний засіб отримує інформацію про прискорення переднього транспортного засобу. Поточний транспортний засіб повинен прискоритися так само, як і передній транспортний засіб, щоби підтримувати сталу відстань між двома транспортними засобами, що дозволяє уникнути зіткнень ззаду, спричинених надмірними змінами відстані [5]. Тому переходи T5 та T3 знаходяться в синхронному зв'язку. Аналогічно, інші переходи також знаходяться в такому послідовному синхронному зв'язку. Побудована таким чином мережа Петрі відображає процес стеження за транспортним засобом у системі ACC.

Синхронні сигнальні вузли S3 та S4 можуть відображати силу вищезгаданих синхронних зв'язків у мережі Петрі ACC. Чим більше маркерів накопичується в сигнальному вузлі, тим гірша синхронізація двох транспортних засобів. [6].

Висновки. Застосування мереж Петрі при моделюванні системи ACC дозволяє відображати паралелізм, послідовність та синхронізацію роботи системи ACC у процесі слідування за транспортним засобом. Алгоритми роботи системи ACC, розроблені із застосуванням мереж Петрі покращують синхронізацію руху і значно зменшують ризики зіткнення.

ЛІТЕРАТУРА

1 Особливості ADAS — технології, що набирає обертів. URL: https://www.denso-am.eu/ua/news/особливості-adas-технології-що-набирає-обертів (Дата звернення 09.08.25).
2 Althoff, M.; Maierhofer, S.; Pek, C. Provably-Correct and Comfortable Adaptive Cruise Control. IEEE Trans. Intell. Veh. 2021, 6, 159–174 ст.
3 Kim, Y.; Guanetti, J.; Borrelli, F. Compact Cooperative Adaptive Cruise Control for Energy Saving: Air Drag Modelling and Simulation. IEEE Trans. Veh. Technol. 2021, 70, 9838–9848.
4 Lomazova, I.A. Nested Petri nets for adaptive process modeling. In Pillars of Computer Science; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 460–474.
5 Ames,A.D.; Xu, X.; Grizzle, J.W.; Tabuada, P. Control Barrier Function Based Quadratic Programs for Safety Critical Systems. IEEE Trans. Autom. Control 2017, 62, 3861–3876.
6 Sadraddini, S.; Sivaranjani, S.; Gupta, V.; Belta, C. Provably Safe Cruise Control of Vehicular Platoons. IEEE Control Syst. Lett. 2017, 1, 262–267.

УДК.621.313.333

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИВОДІВ НА БАЗІ АСИНХРОННИХ КОРОТКОЗАМКНЕНИХ ДВИГУНІВ

Чміль М.П., Голощапов С.С.
Херсонська державна морська академія

Вступ. Трифазні асинхронні машини з короткозамкненим ротором складають основу сучасного промислового та суднового електроприводу. Відсутність ковзних контактів, зручність обслуговування, надійність в експлуатації, високі техніко-економічні

показники роблять їх незамінними в електроприводах суднових вантажопідйомних механізмів, якірно-швартових, кермових та підрулюючих пристроях.

У той самий час слід зазначити і недоліки таких двигунів, у тому числі найбільш істотними є малозадовільні регулювальні і пускові характеристики. Тому актуальним є вдосконалення їх конструкцій з метою одержання, зокрема, покращених пускових характеристик.

Основна частина. Значний парк асинхронних двигунів (АД) становлять суднові вантажопідйомні механізми, продуктивність яких, крім швидкості підйому або опускання вантажу, також визначається часом пуску двигуна. За літературними даними [1] час пуску визначається як різниця величин пускового моменту $M_{пуск}$ двигуна та моменту опору M_c. При цьому не береться до уваги конфігурація кривої моменту двигуна, що призводить до суттєвої помилки. Нижче наводиться методика визначення часу розгону приводу за довільної форми кривої моменту.

У загальному випадку рівняння руху приводу

$$M - M_c = J\frac{d\omega}{dt},$$

де M - руховий момент,

M_c - момент опору,

J - наведений до двигуна момент інерції механізму, включаючи момент інерції ротора,

ω - швидкість ротора,

t -час.

Вирішуючи його, визначаємо час розгону (пуску) двигуна

$$t_n = J\int_0^{\omega_{ном}} \frac{1}{M - M_c} d\omega .$$

Враховуючи, що кутова швидкість ω та ковзання s пов'язані співвідношенням $\omega = \omega_0(1-s)$, $d\omega = -\omega_0 ds$; тут ω_0 – швидкість поля, постійна величина.

Тоді час розгону визначиться як

$$t_n = J\int_1^{s_{ном}} \frac{\omega_0}{M - M_c} ds = J\omega_0 \cdot \frac{1}{S_{M-M_c}} \Big|_1^{s_{ном}},$$

де $S_{M-M_c}\Big|_1^{s_{ном}} = M_{дин}$ - динамічний момент, або площа, укладена під різницею кривих M і M_c.

З огляду на цей час розгону визначиться як

$$t_n = k_{тр} J\omega_0 \cdot \frac{1}{M_{дин}},$$

де $k_{тр} = 1{,}1 \div 1{,}3$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції трансмісії.

Крива має різко нелінійний характер, часто маючи явно виражений максимум. На цій кривій завжди можна визначити чотири точки:

1. Режим ідеального холостого ходу: $M = 0$, $s = 0$;
2. Номінальний режим: $M = M_{ном}$, $s = s_{ном}$;
3. Режим максимального моменту (критична точка): $M = M_{макс}$, $s = s_{кр}$;
4. Пусковий режим: $M = M_{пуск}$, $s = 1$.

Всі ці точки визначаються за паспортними даними двигуна та за каталогом; величину $s_{кр}$ можна обчислити за формулою $s_{кр} = s_н \cdot (k_м + \sqrt{k_м{}^2 - 1})$, $k_м = M_{макс} / M_{ном}$.

З достатнім ступенем точності криву можна замінити шматково-ламаною прямою, що проходить через чотири вказані точки, як показано на рис. 1.

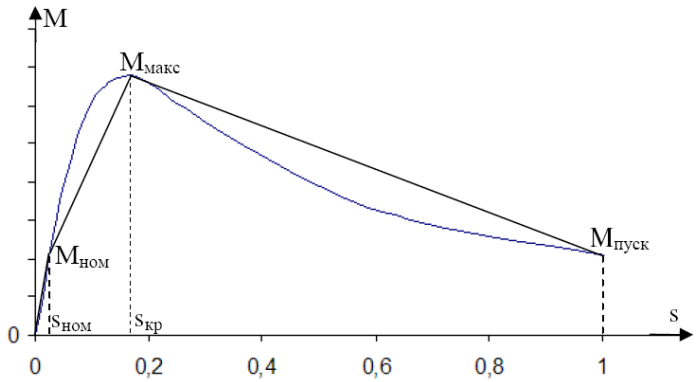


Рисунок1 Шматково-лінійна апроксимація кривої моменту $M = f(s)$

Площа, укладена під кривою на ділянці від $s = 1$ до $s = s_{ном}$ визначиться як

$$M \approx \frac{M_{пуск} + M_{макс}}{2} \cdot (1 - s_{кр}) + \frac{M_{макс} + M_{ном}}{2} \cdot (s_{кр} - s_{ном}) .$$

Якщо ж крива має монотонний вигляд, що має місце в двигунах з масивними феромагнітними роторами (рис. 2), то площа під кривою дорівнюватиме

$$M \approx \frac{M_{пуск} + M_1}{2} \cdot (1 - s_1) + \frac{M_1 + M_{ном}}{2} \cdot (s_1 - s_{ном}) .$$

При цьому вибір координат точки (*M1, s1*) некритичний: *s1* = 0,15 ÷ 0,3.

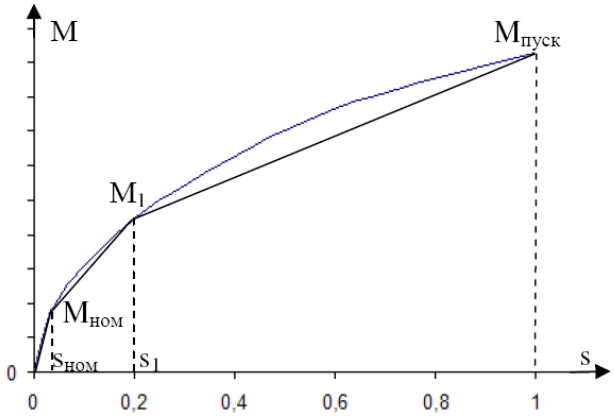


Рис. 2 Шматково-лінійна апроксимація кривої $M = f(s)$, що має монотонний характер

Розрахунковий аналіз показує, що традиційні двигуни, що мають характеристику виду рис.1, мають відносно невеликий динамічний момент, що зумовлює неприпустимо великий час розгону приводу. При цьому двигун при розгоні до швидкості 80-90% від номінальної споживає струм на рівні пускового, обумовлюючи відносно тривалі провали бортової напруги.

Тому, як правило, у підйомних механізмах застосовують глибокопазні або двоклітинні двигуни, що мають підвищений пусковий момент і відносно невеликий пусковий струм. Альтернативою таким двигунам може служити двигун з обмідненим масивним феромагнітним ротором, який має механічну характеристику, представлену на рис. 2. Обміднення ротора сприяє підвищенню його робочого та пускового моментів [2].

Аналіз електромагнітних процесів, що відбуваються в масивному феромагнітному роторі [3], дозволяє визначити глибину проникнення електромагнітного поля в тіло ротора і прийти до висновку, що поле вглиб ротора при пуску проникає всього лише на кілька

міліметрів, а при ковзанні 2,5% - на 2÷3 см. У зв'язку з цим внутрішнє тіло ротора в електромагнітному процесі участі не бере, що дозволяє його виключити, полегшивши сам ротор і зменшивши, таким чином, момент інерції ротора, що зменшує час його розгону. А оскільки поле всередині ротора відсутнє, немає необхідності у внутрішньому феромагнітному статорі, який зазвичай присутній в двигунах з порожнистим ротором. При цьому сам ротор за формою уявляє собою порожнисту товстостінну феромагнітну склянку.

Висновки. Подана методика розрахунку динамічного моменту дозволяє уточнити визначення часу розгону електроприводу з довільною формою кривої моменту, що дозволяє оптимізувати вид механічної характеристики. Застосування асинхронного двигуна з масивним порожнистим обмідненим ротором у суднових підйомних механізмах дозволить знизити час розгону приводу, зменшити провали напруги та їх тривалість при пуску, знизити матеріаломісткість та вагу двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чекунов К.А. Суднові електроприводи та електрорух суден Л.: Суднобудування, 1989. - 464 с.

2. Іщенко І.М., Голощапов С.С. Розрахунок асинхронного двигуна з обмідненим масивним феромагнітним ротором. Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. - №1(16). С. 121 – 125.

3. Куцевалов В.М. Питання теорії та розрахунку асинхронних машин з масивними роторами / В.М. Куцевалов - М. - Л.: Енергія. 1966. 304 с.

УДК 541.136:621.355.5

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТРУМОВІДВОДІВ VRLA-АКУМУЛЯТОРІВ

Дзензерський В.О., Тарасов С.В., Сухова О.В., Іванов В.А., Александров О.В.
Інститут транспортних систем і технологій НАН України

Вступ. Натепер на ринку стартерних та індустріальних акумуляторних батарей все більш затребуваними стають клапан-регульовані VLRA-акумулятори з рекомбінацією газів, що утворюються в ході експлуатації батареї. Використання технології VLRA забезпечує такі основні переваги [1,2]:

- відсутність необхідності в обслуговуванні батарей;
- безпека від газо-розрядного (водневого) займання;
- безпека від можливого виливу електроліту.

Використання в конструкції VLRA-акумуляторів волокнистих сепараторів AGM, просочених електролітом, визначає необхідність виготовлення струмовідводів методом гравітаційного лиття [3]. Однак під час технологічного процесу решітки зазнають деформації, що призводить до чисельних випадків їх відбракування [4]. Цю проблему можна вирішити шляхом пошуку оптимальної конструкції решіток, що визначає необхідність дослідження їх напружено-деформованого стану. Експериментальне доопрацювання існуючих або пошук нових конструкцій ливарних форм пов'язане зі значними матеріальними і трудовими витратами. Тоді як використання методів чисельного моделювання є ефективним і значно менш затратним способом вирішення задачі вибору оптимальної конструкції струмовідводів VLRA-акумуляторів. Тому в цій роботі досліджено напружено-деформований стан здвоєних прямокутних і діагональних

решіток VLRA-акумуляторів з метою запобігання їх деформації і викривлення геометричних розмірів під час виготовлення методом гравітаційного лиття.

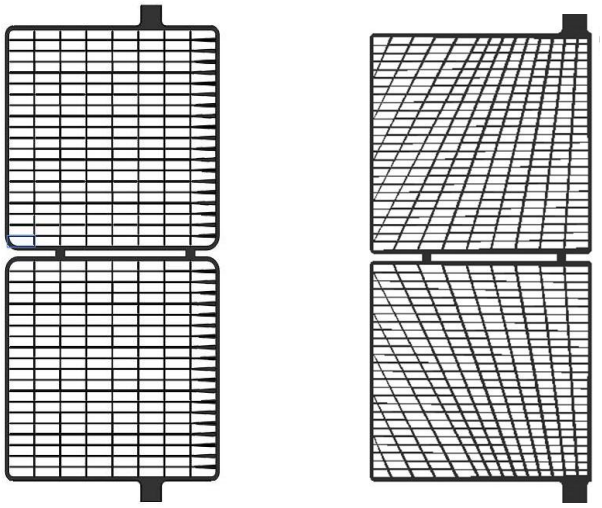
Методи досліджень. Струмовідводи електродних решіток VLRA-акумуляторів виготовляли методом гравітаційного лиття на ливарних автоматах акумуляторного виробництва корпорації «Веста» (м. Дніпро). Технологічний цикл виготовлення здвоєних решіток показаний на рис. 1.



а б в г

Рисунок 1 – Технологічний цикл виготовлення здвоєних решіток: а – решітка в ливарній формі; б – передача решітки на обрізку облою; в – подача решітки до напрямних; г – передача готової решітки на напрямні

Вибір оптимальної конструкції литої решітки VLRA-акумуляторів з урахуванням мінімального доопрацювання існуючої ливарної форми виконували методом чисельного моделювання з використанням спеціалізованого програмного пакету «ANSYS». Напружено-деформований стан вихідної решітки і решіток з внесеними конструктивними змінами розраховували методом скінчених елементів. Загальною схемою навантаження була обрана схема навантаження решітки, що опирається на вушки під власною вагою. Розглядали два види здвоєних решіток з прямокутними (П-решітка) (рис. 2,а) та діагональними (Д-решітка) (рис. 2,б) жилками. Значення механічних характеристик для розрахунків, а саме модуля Юнга, умовної межі текучості, тимчасового опору розтягу, визначали експериментально з діаграм розтягу сплаву Pb–0,7%Sn–0,08%Ca для литих решіток [3-7]. Ефективність внесених змін в конструкцію решіток оцінювали, порівнюючи максимальні величини деформації і напруження, розраховані для вихідної і доопрацьованих решіток.



а б

Рисунок 2 – Вигляд здвоєних решіток: а – П-решітка; б – Д-решітка

Результати та їх обговорення. В ході освоєння виробництва здвоєних решіток VLRA-акумуляторів на ливарних автоматах корпорації «Веста» виникали наступні проблеми. Під час передачі решітки на напрямні ливарного автомата вона не потрапляла на напрямні та деформувалася при падінні. Крім того, відбувалася деформація і викривлення геометричних розмірів внаслідок накопичення решіток на напрямних перед їх подачею на піддони для подальшої термічної обробки (рис. 3,а). Також решітка деформувалася під час процесу пастонамазки (рис. 3,б). У процесі різки здвоєних решіток на одинарні виникали викривлення геометричної форми пластин в зоні вушка та в місцях різки перемичок, які з'єднують одинарні пластини в здвоєну (рис. 3,в).



а б в

Рисунок 3 – Вигляд деформованої решітки: а – після потрапляння на напрямні ливарного апарата; б – після пастонамазки; в – після різки

Для усунення проблем, пов'язаних з деформацією і викривленням геометричних розмірів здвоєних решіток для VLRA-акумуляторів під час їх виготовлення методом гравітаційного лиття, розраховували максимальні значення деформації і напруження решіток зі змінами конструкції, описаними в таблиці. В таблиці знак «–» вказує на зменшення максимальної величини деформації/напруження порівняно з вихідною П-решіткою, а знак «+» – на збільшення цих величин.

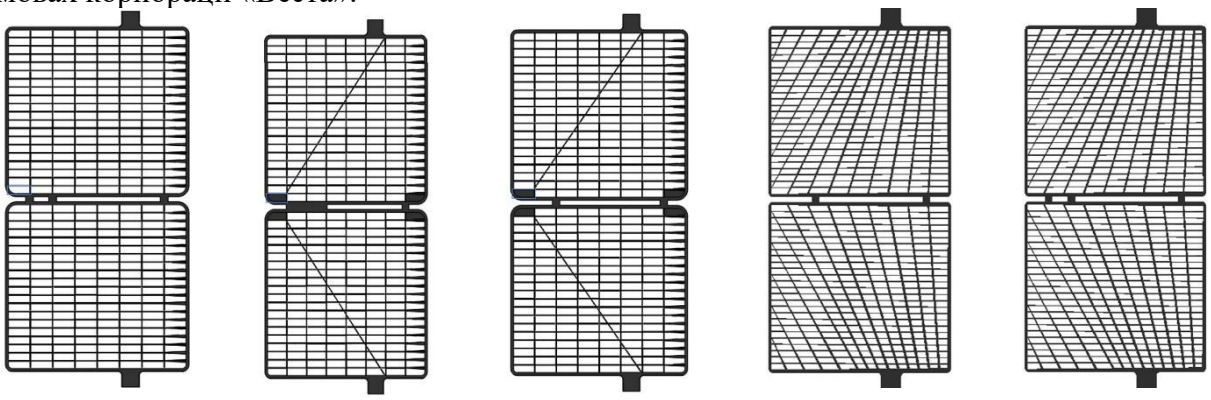
З даних таблиці випливає, що найбільш помітне зменшення максимальних величин деформації та напруження П-решіток спостерігається в разі установки додаткової третьої перемички в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну (рис. 4,а), а також додавання в площині решітки діагональних жилок з великим кутом нахилу (рис. 4,б,в). Ці величини суттєво знижуються для Д-решіток, якщо спрямувати горизонтальні жилки в напрямку вушків, розташованих збоку контуру (рис. 2,б). Крім того характеристики напружено-деформованого стану додатково зменшуються в разі зміщення розташування вушків ближче до середини контуру решітки (рис. 4,г,д). Додавання третьої перемички в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну Д-решітку забезпечує найбільше зменшення максимальних величин деформації та напруження відповідно в 6,43 та 2,84 рази (рис. 4,д) порівняно з вихідною П-решіткою (таблиця).

Таблиця – Результати розрахунку максимальних значень деформації і напруження

Опис конструкції здвоєної решітки	Деформація		Напруження	
	мм	% від вихідного значення	МПа	% від вихідного значення
Вихідна П-решітка	0,0274	–	1,6224	–

П-решітка з потовщеним контуром	0,02631	–4	1,896	+14
П-решітка з подовженою перемичкою	0,0207	–24	1,8112	+11
П-решітка з діагональними вертикальними жилками	0,02787	+1,5	2,099	+23
П-решітка з діагональними жилками в кутових комірках	0,038	+28	2,4941	+35
П-решітка з чотирма суцільними кутовими комірками	0,0201	–27	2,1256	+24
П-решітка з восьма суцільними кутовими комірками	0,0168	–39	1,8315	+11
П-решітка з трьома перемичками	0,0181	–34	1,1122	–31
П-решітка з діагональною жилкою, чотирма суцільними кутовими комірками і подовженою перемичкою	0,01905	–30	1,015	–37
П-решітка з діагональною жилкою і чотирма суцільними кутовими комірками	0,0166	–39	1,6849	+4
Д-решітка	0,00584	–79	0,99	–40
Д-решітка зі зміщеними вушками	0,00565	–80	0,666	–59
Д-решітка зі зміщеними вушками і додатковою третьою перемичкою	0,00426	–85	0,571	–65

З урахуванням результатів розрахунків максимальних величин деформації і напруження прямокутних і діагональних здвоєних решіток були розроблені рекомендації щодо вибору оптимальної конструкції струмовідводів для VRLA-акумуляторів, що дозволило успішно освоїти технологію їх виробництва методом гравітаційного лиття в умовах корпорації «Веста».



а б в г д

Рисунок 4 – Варіанти конструкцій здвоєних решіток: а – П-решітка з трьома перемичками в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну; б – П-решітка з діагональною жилкою, чотирма суцільними кутовими комірками і подовженою перемичкою в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну; в – П-решітка з діагональною жилкою і чотирма суцільними кутовими комірками; г – Д-решітка зі зміщеними до середини контуру вушками; д – Д-решітка зі зміщеними до середини контуру вушками і додатковою третьою перемичкою

Висновки. В роботі розраховані максимальні величини деформації та напруження прямокутних і діагональних здвоєних решіток для VRLA-акумуляторів, виготовлених зі сплаву Pb–0,7%Sn–0,08%Ca, в умовах корпорації «Веста» (м. Дніпро). Розрахунки виконані з використанням моделі скінчених елементів за допомогою спеціалізованого програмного пакету «ANSYS». Для прямокутних решіток зменшення характеристик

напружено-деформованого стану забезпечує додавання третьої перемички в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну, а також додавання в площині решітки діагональних жилок з великим кутом нахилу. Однак найбільше зменшення цих характеристик можна отримати для діагональних здвоєних решіток зі зміщеними до середину контуру вушками і додатковою третьою перемичкою в місці з'єднання одинарних решіток у здвоєну. Описані зміни конструкції здвоєних решіток дозволяють запобігти деформації та викривленню геометричних розмірів струмовідводів, що підтверджується промисловими випробуваннями в умовах корпорації «Веста» (м. Дніпро).

ЛІТЕРАТУРА

1. Engineering properties and applications of lead alloys/ [Guruswamy S.]. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – 648 p.
2. Valve-regulated lead-acid batteries/ [Rand D.A.J., Moseley T., Garche J., Parker C.D.]. – Amsterdam: Elsevier, 2004. – 575 p.
3. Lead-acid batteries: Science and technology/ [Pavlov D.]. – London: Elsevier, 2017. – 720 p.
4. Rys P. Trends and prospects in lead-acid battery development / P. Rys, M. Siekierski, M. Knos, P. Moszczynski // Journal of Power Technology. – 2024. – Vol. 104, No. 1. – P. 67–85.
5. Dzenzerskiy V. O. Mechanical properties of Pb–0.7%Sn–0.08%Ca positive grid alloy for lead-acid batteries / V. O. Dzenzerskiy, S. V. Tarasov, O. V. Sukhova, V. A. Ivanov // Romanian Journal of Physics. – 2024. – Vol. 69, No. 7–8. – 907.
6. Dzenzerskiy V. O. Tensile properties of as-cast and aged Pb–Sn–Ca alloys for positive grids of lead-acid batteries / V. O. Dzenzerskiy, S. V. Tarasov, O. V. Sukhova, D. O. Redchyts, V. A. Ivanov // Kovove materialy. – 2024. – Vol. 62, No. 3. – P. 153–158.
7. Dzenzerskiy V. O. Effects of casting mold temperature on tensile properties of Pb–Sn–Ca alloys for negative grids of lead-acid batteries / V. O. Dzenzerskiy, S. V. Tarasov, V. A. Ivanov, O. V. Sukhova // Materials Testing. – 2025. – Vol. 67, No. 2. – P. 397–405.

УДК 62-6: 621.43

АНАЛІЗ ЗАДАЧІ АДИТИВНОСТІ ПОЛЯ ШВИДКОСТЕЙ В ЗОВНІШНІЙ ЗАДАЧІ АЕРОДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЯ ЗАСОБАМИ CFD-РОЗРАХУНКІВ

Русанов С.А., Клюєв О.І., Шатохіна І.А., Шильцин Я.В.
Херсонський національний технічний університет,

Питання аеродинаміки автомобіля та роль окремих конструктивних елементів, зокрема антикрил, у формуванні характеристик повітряного потоку й силових ефектів під час руху, продовжує бути актуальним не тільки для компаній-виробників автомобілів, але й для виробників додаткових навісних елементів, таких як спойлери, спліттери, антикрила тощо. Деякі питання з цього приводу висвітлюються у значній кількості досліджень як класичного, так і сучасного періоду. У фундаментальних працях [1-3] представлено узагальнені методики оцінювання аеродинамічного опору та притискної сили, а також проаналізовано вплив геометрії кузова, кліренсу й додаткових елементів. Особливості застосування сучасних методів математичного та комп'ютерного CFD-моделювання для розв'язання задач автомобільної аеродинаміки детально розглянуто у роботах [4-6]. Дослідження ефективності роботи зовнішніх навісних елементів шляхом чисельних розрахунків у CFD-системах наведено у [7, 8]. Часто існують дані щодо аеродинамічних параметрів додаткових навісних елементів, що було розраховано або отримано в

експериментальних дослідженнях окремо від транспортного засобу. В цьому разі постає питання щодо можливості використовувати ці дані для оцінки аеродинаміки автомобіля з встановленими елементами загалом, тобто питання ступеня адитивності при окремому використанні даних щодо аеродинаміки елементів та автомобіля без них, що вказано на умовній схемі (рис. 1). Нами було проведено розрахункове дослідження цього питання стосовно до використання антикрила з визначенням ступеня адитивності аеродинамічного опору та притискної сили.

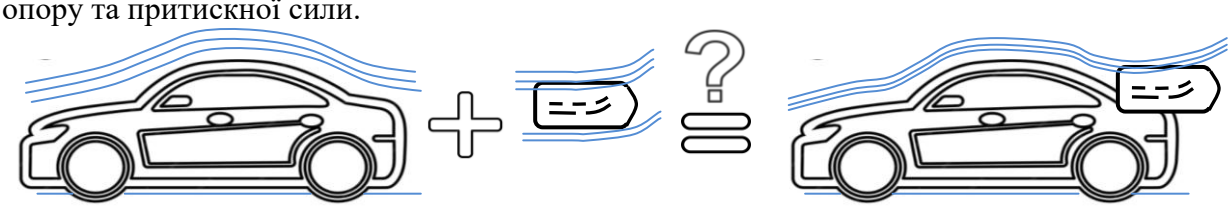


Рис. 1. Ілюстрація проблеми адитивності потоків

З метою оцінки сукупного впливу системи «автомобіль-антикрило» за допомогою поетапного моделювання окремих складових було виконано серію CFD-сесій, що включали продувку віртуальної моделі автомобіля, антикрила та їхньої комбінації. Процес комп'ютерного моделювання полягав у відтворенні обтікання транспортного засобу повітряним потоком із постійною швидкістю 45 м/с (приблизно 160 км/год), що імітує умови роботи аеродинамічної труби у віртуальному середовищі.

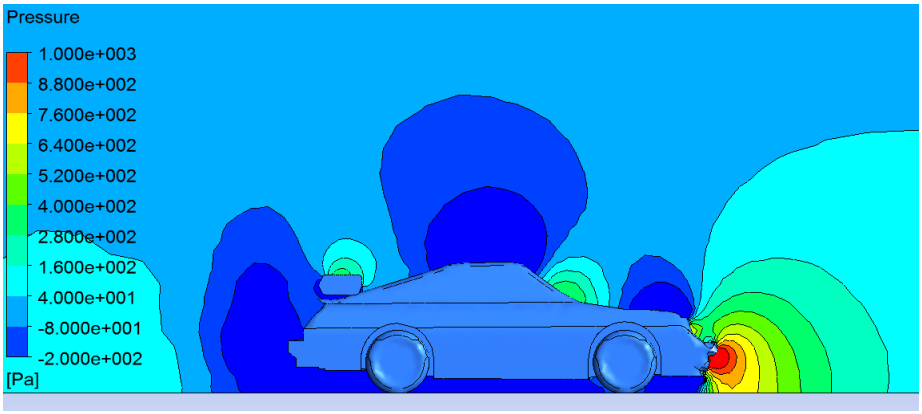
Чисельне моделювання виконувалося в просторій області, відтвореній у реальному масштабі у вигляді ортогонального домену визначених розмірів. Параметри повітряного простору залежали від величини колісної бази автомобіля та встановлювалися орієнтовно відповідно до рекомендацій [8]. Для проведення чисельних експериментів була використана неструктурована сітка скінченних об'ємів, вплив пограничного шару моделювався шляхом додавання призматичних комірок у зоні поверхні кузова та навісних елементів, що дозволило коректно описати розподіл швидкісних градієнтів у приповерхневій області відповідно до концепції функції стінки. Використовувалась k-ε модель турбулентності [9]. Задача вирішувалась у стаціонарній постановці. У розрахунковому домені граничні умови встановлювалися таким чином: на вхідній границі задавалася швидкість потоку, на бічних та верхній стінках - умови симетрії, а на виході - атмосферний тиск. Для поверхні кузова автомобіля використовувалася умова прилипання, тоді як на нижній межі, що імітувала дорожнє полотно, задавалося непроникнення (нульова вертикальна складова швидкості). Крім того, на вході до домену додатково визначалися параметри турбулентності: інтенсивність 5% та характерний масштаб 0,005 м згідно з рекомендаціями [8].

Результати CFD-розрахунків подано у вигляді карт тиску: навколо автомобіля в повітряному домені та безпосередньо на його кузові (рис. 2, а), та ліній току навколо встановленого на автомобіль антикрила. Отримані дані відображають характерний для автомобільної аеродинаміки розподіл тиску по поверхні кузова.

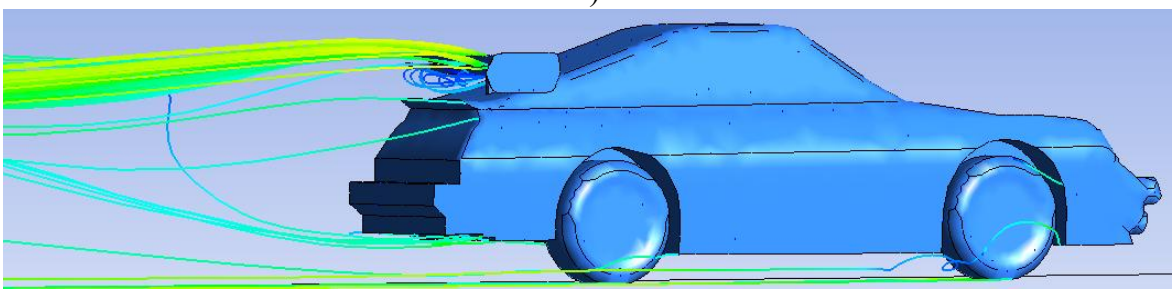
На рис. 3 а) та б) наведено результати CFD-розрахунків для двох випадків: автомобіля без антикрила та окремо антикрила у вільному потоці, представлені у вигляді полів розподілу тиску. Отримані значення аеродинамічного опору автомобіля з антикрилом та сумарної притискної сили, становлять $F_{ac} = 1200$ Н та $F_{ay} = 854$ Н відповідно. Отримане значення аеродинамічного опору автомобіля без антикрила становить $F_c = 932$ Н. При цьому на автомобіль без антикрила діє незначна підйомна сила $F_y = 222$ Н. Антикрило у вільному потоці має аеродинамічний опір $F_{wc} = 140$ Н та притискну силу $F_{wy} = 966$ Н. Як бачимо, з нерівностей (6) та (7) випливає, що повна адитивність, як і очікувалося, не дотримується.

$$F_c + F_{wc} = 1072\ \text{Н} < F_{ac} = 1200\ \text{Н}, \tag{6}$$

$$-F_y + F_{wy} = 744\ \text{Н} < F_{ay} = 844\ \text{Н}. \tag{7}$$

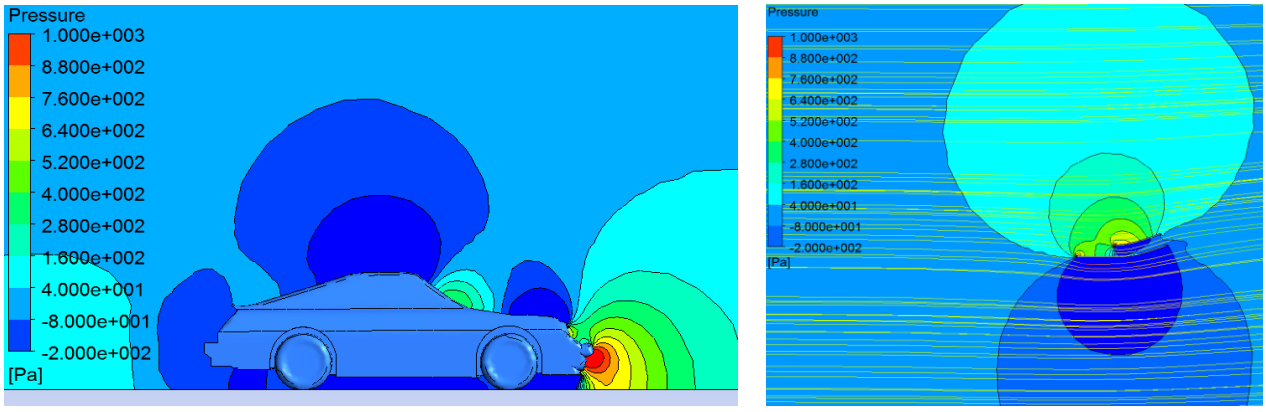


а)



б)

Рис. 2. Трасування тисків навколо автомобілю (а), та вихрові структури, що утворюються у зазорі між нижньою стороною антикрила та кузовом автомобіля



а) б)

Рис. 3. Трасировка тисків в повітряному домені для автомобіля без антикрила (а) та для антикрила (повернуто) у вільному потоці (б)

Невідповідності виявилися близькими за значенням і становлять близько 10% для коефіцієнта лобового опору та 12% для притискної сили. Вони зумовлені зміною структури течії в проміжку між антикрилом і кузовом автомобіля: швидкість повітря, що надходить на антикрило у присутності кузова, вища, ніж у випадку вільного потоку. Додатково в цьому просторі формується інтенсивне вихроутворення (рис. 2, б), яке не спостерігається при розгляді автомобіля та антикрила окремо (рис. 3, б). Це призводить до зниження тиску позаду антикрила та в зазначеній зоні, що, у свою чергу, підвищує значення аеродинамічних сил порівняно з умовами вільного потоку.

Висновки. Таким чином, порівняння показує, що повна адитивність опорів і притискної сили не дотримується. Тим не менш, адитивний підхід може використовуватися як перше наближення, при цьому похибка складає приблизно 10-12%,

причому розраховані сили для повної системи трохи перевищують суму відповідних величин окремих компонентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. McBeath S. Competition car aerodynamics: A practical handbook. Haynes Publishing, 2006. 232 p.
2. Katz J. Race car aerodynamics: Designing for speed. Cambridge: Bentley Publishers, 1995. 271 p.
3. Hucho W.-H. Aerodynamics of Road Vehicles. 4th ed. SAE International, 1998. 918 p.
4. Genta G. Motor Vehicle Dynamics - Modeling and Simulation. World Scientific Publishing Company, 2006. 539 p.
5. Zhang Y., Jian J., Wang G., Jia Y., Zhang J. Research on vehicle aerodynamics and thermal management based on 1D and 3D coupling simulation. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 18. P. 6783. https://doi.org/10.3390/en15186783.
6. Janson T., Piechna J. Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of a High-Speed Car with Movable Bodywork Elements. *Archives of Mechanical Engineering*. 2015. Vol. 62, No. 4. P. 451-476.
7. Єгоров А.А., Куличенко П.Н., Русанов С.А., Лобов О.О. Використання деталей складних профілів для зменшення аеродинамічного опору. *Вісник ХНТУ*. 2019. № 3(70). С. 22-30.
8. Piechna J., Kurec K., Broniszewski J., Remer M., Piechna A., Kamieniecki K., Bibik P. Influence of the car movable aerodynamic elements on fast road car cornering. *Energies*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 689. DOI: https://doi.org/10.3390/en15030689.
9. Mohammadi B., Pironneau O. Analysis of the K-Epsilon turbulence mode*l*. *Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons*, 1994. 205 p.

УДК 621.01

СТРУКТУРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ПОДВІЙНОЮ РУХОМІСТЮ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО КОРПУСА

[1]Кошель С.О., [2]Кошель Г.В.
[1]Київський національний університет технологій та дизайну
[2]Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім.М.Бойчука

При проєктуванні нових механічних систем виникає необхідність проведення структурного та кінематичного аналізу механізмів [1-4], що надходять до їх складу. Для визначення кінематичних параметрів механізму з двома ведучими ланками (рис. 1) необхідно спочатку умовно зупинити ланку 2 та дослідити вплив руху кривошипу 1 на рух

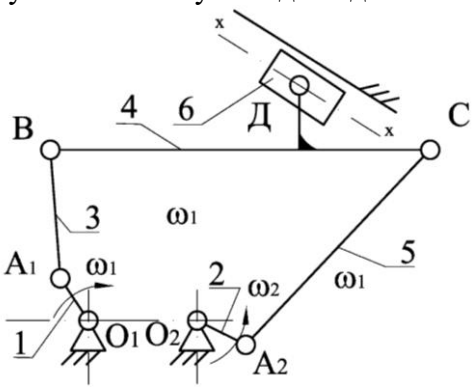


Рисунок 1 – Механічна система з подвійною рухомістю по відношенню до корпуса

веденої ланки 6, а потім повторити аналіз при умові зупиненої ланки 1 для того, щоб розрахувати кінематичні параметри веденої ланки, які викликані рухом кривошипу 2 Механізм відноситься до складного механізму третього класу, формула будови якого наведена на рис. 2. Для того, щоб встановити вплив руху ведучої ланки 1 на кінематичні параметри ведених ланок механізму вважаємо іншу ланку 2 нерухомою.



Рисунок 2 – Формула будови

Досліджуємо механізм в послідовності, яка обумовлена іншою можливою ведучою ланкою, що надходить до складу групи третього класу. Якщо за початковий механізм обрати сукупність ланок 2, 5 – формула будови всього механізму наведена на рис. 3.

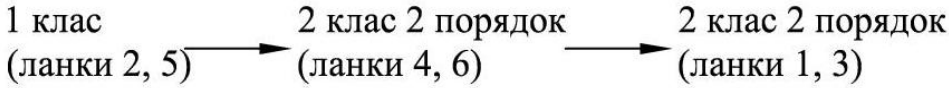


Рисунок 3 – Формула будови

Якщо ведучою ланкою умовно обрати ланку 6 зміни в формулі будови спостерігаються серед тих ланок, що утворюють структурну групу, яка безпосередньо приєднана до іншого умовного початкового механізму (рис.4).

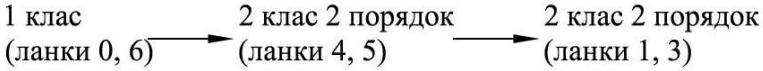


Рисунок 4 – Формула будови

Для обох випадків умовно інших ведучих ланок механізм стає механізмом з послідовним приєднанням структурних груп ланок другого класу, тобто набуває вигляду механізму другого класу, в якому рух умовно ведучої ланки 5 (рис.3) або ланки 6 (рис. 4) є невизначеними, а веденої ланки 1 – задається. Розв’язати задачу визначення кінематичних параметрів всіх ланок механізму зі ступенем вільності одиниця можна за умов заданих параметрів руху однієї його ланки (необов’язково ведучої), якщо урахувати те, що рух ланок в будь-якому механізмі є взаємопов’язаним.

Для визначення впливу руху ланки 2 на кінематичні параметри веденої ланки 6 вважаємо ланку 1 умовно нерухомою. Для випадку інших можливих початкових механізмів маємо формули будов, що наведені на рис. 5 та рис. 6.

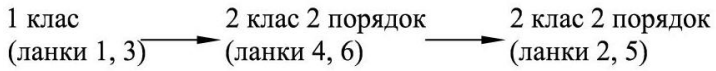


Рисунок 5 – Формула будови

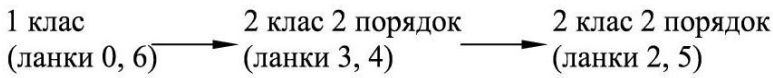


Рисунок 6 – Формула будови

Висновки. Результати структурного дослідження механічної системи третього класу з подвійною рухомістю по відношенню до корпуса дозволяють стверджувати про те, що дослідження такої системи необхідно виконувати в два етапи: спочатку дослідження проводимо за умови умовної зупинки однієї з ведучих ланок, а потім дослідження повторюємо для випадку умовної зупинки другої ведучої ланки. Незалежно від того, яку іншу умовно ведучу ланку для такої послідовності аналізу обираємо, при подальшому дослідженні механічної системи третього класу маємо справу з послідовністю дій, що обумовлюється аналізом механічних систем другого класу, для яких задача проведення кінематичного дослідження є статично визначеною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Saxena T. Structural Analysis of Twelve Link Kinematic Chain using Graph Theory/ T.Saxena, V.Singh// International Journal for Scientific Research & Development. – 2017. – 5, N 10. – P. 459 – 462.
2. Diwan N. Kinematic analysis of a new designed eight-link riveter mechanism/ N. Diwan // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. – 2020. – 11, N 9. – P. 380 – 368.
3. Matsiuk I. Substantiation of rational design parameters of a crusher with two movable jaws/ I.Matsiuk, O.Fedoskina, I.Sokolov// Natsionalnyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2024. – 5. – P. 45 – 50.
4. Koshel S., Dvorzhak V., Koshel G., Zalyubovskyi M. Kinematic Analysis of Complex Planar Mechanisms of Higher Classes/ S.Koshel, V.Dvorzhak, G.Koshel, M.Zalyubovskyi// Int. Appl. Mech.. – 2022. – 58 (1). – P. 111 – 122.

УДК 658.382:331.46:656.1.08

ІНТЕГРАЦІЯ ЕРГОНОМІЧНИХ ПРИНЦИПІВ У СИСТЕМУ КОНТРОЛЮ ВТОМИ ВОДІЯ

[1]Кошель Г.В., [2]Кошель С.О.
[1]Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М.Бойчука
[2]Київський національний університет технологій та дизайну

У сучасних умовах зростаючої інтенсивності трафіку на автомобільних дорогах проблема забезпечення безпеки дорожнього руху набуває особливої актуальності. За статистичними даними, значна частина дорожньо-транспортних пригод спричинена втомою водіїв, яка проявляється у зниженні концентрації уваги, сповільненні швидкості реакцій та зростанні ймовірності допущення помилок у складних ситуаціях [1]. З ергономічної точки зору, втома є результатом невідповідності між психофізіологічними можливостями людини та умовами її діяльності. Тривале перебування в статичній позі, монотонність дорожнього середовища, інтенсивне сенсорне навантаження, а також несприятливі фактори виробничого середовища (шум, вібрація, мікроклімат) посилюють прояви перевтоми. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження ергономічно обґрунтованих систем контролю втоми водія, які дозволять своєчасно виявляти критичні зміни у стані людини та забезпечувати превентивні заходи для підвищення безпеки дорожнього руху [2, 3].

Згідно з офіційними даними, у період від 2011 до 2015 років [4] сонливе водіння фігурувало приблизно у 2,3–2,5 % усіх дорожньо-транспортних пригод на національному рівні, що призвели до летальних випадків на дорогах США. У 2015 році 2,3 % усіх

смертельних випадків (824 випадки) було офіційно пов'язано з керуванням у стані сонливості. Варто зазначити, що у 2015 році загальна кількість смертельних випадків на автошляхах зросла на 7 % в порівнянні з 2014 роком. Упродовж 2011–2015 років кількість загиблих у ДТП за участю сонних водіїв залишалася відносно стабільною, коливаючись у межах від 2,3 % до 2,6 % [4].

Розробка доступної системи контролю втоми водія, інтегрованої через CarPlay та Android Auto, дозволить значно розширити коло користувачів подібних систем безпеки. Використання наявних мультимедійних систем автомобіля та функціональних клавіш керма забезпечує простоту впровадження та безпечну взаємодію водія з системою під час руху.

Сучасні автомобілі оснащені розвиненими мультимедійними системами, які надають широкі можливості для інтеграції додаткового програмного забезпечення без необхідності встановлення додаткового обладнання в автомобіль.. Особливу увагу варто приділити двом основним платформам - Apple CarPlay та Android Auto, які стали стандартом де-факто для інтеграції мобільних додатків з автомобільними системами [5]. Система використовує стандартні інтерфейси CarPlay та Android Auto, які вже присутні в більшості сучасних автомобілів, або може працювати через Bluetooth-з'єднання. Це дозволяє суттєво знизити вартість впровадження системи, спростити процес її встановлення, підвищити рівень безпеки дорожнього руху.

Додатковою перевагою системи є можливість збору та аналізу статистичних даних про стан водія протягом поїздки. GPS-трекінг дозволяє відстежувати маршрут та фіксувати точки, де відбувалася взаємодія водія з системою, що може бути використано для подальшого аналізу та вдосконалення алгоритмів роботи.

Інтеграція додаткового програмного забезпечення без необхідності встановлення нового обладнання в автомобіль має низку важливих ергономічних переваг. Передусім, таке рішення не створює додаткових фізичних елементів управління, що сприяє збереженню оптимальної організації робочого простору водія. Використання наявних інтерфейсів мультимедійної системи зменшує когнітивне навантаження, оскільки взаємодія здійснюється через знайомі засоби керування. Відсутність сторонніх пристроїв мінімізує ризик перевантаження сенсорних каналів та забезпечує комфортні умови для підтримання концентрації уваги водія під час руху транспортного засобу. Крім того, програмна інтеграція дозволяє здійснювати регулярні оновлення, що забезпечує адаптацію системи до індивідуальних потреб користувача та підвищує рівень персоналізації робочого середовища. Ненав'язливість та відсутність втручання у конструкцію автомобіля сприяють збереженню природності поведінки водія за кермом, що є ключовим аспектом ергономічної безпеки. У результаті підвищується не лише комфортність експлуатації транспортного засобу, а й загальний рівень безпеки дорожнього руху.

Висновки. Інтеграція ергономічних принципів в систему контролю втоми водія забезпечує інтуїтивно зрозумілу взаємодію з системою без відволікання від керування транспортним засобом, створює можливості для постійного вдосконалення алгоритмів роботи системи на основі реального досвіду експлуатації. Це особливо важливо для корпоративних користувачів, які отримують інструменти для оптимізації режимів праці та відпочинку водіїв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гоженко А.І. Проблеми виникнення дорожньо-транспортних пригод та дорожньо-транспортного травматизму в Україні. можливі шляхи їх вирішення / А.І. Гоженко, Ю.С. Біла // Actual problems of transport medicine. – 2012. – №3 (29). – С. 11-22.
2. Гюлєв Н. У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія: навч. посібник / Н. У. Гюлєв; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 185 с. ISBN 978-966-695-273-1

3. National Highway Traffic Safety Administration. (2021). Drowsy Driving Research. https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving
4. Drowsy Driving 2015 : A Brief Statistical Summary / Published by NHTSA's National Center for Statistics and Analysis. – Washington, D.C. : U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 2017. – [2. c.]. – DOT HS 812 446. – URL: https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812446 (дата звернення: 10.09.2025).
5. Zhang, G., Yau, K. K., & Chen, G. (2021). "Risk factors associated with traffic violations and accident severity in China." Accident Analysis & Prevention, 152, 105981

УДК 355/359:73

ДИЗАЙН ТА ЕРГОНОМІКА ЛЕГКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ

Кошель Г.В., Поповіченко С.А.
Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М. Бойчука

Дизайн легких транспортних засобів підвищеної прохідності (багі) повинен передбачати поєднання ключових характеристик, таких як міцність, легкість та висока прохідність, що є визначальними для забезпечення ефективної експлуатації транспортного засобу в складних умовах бездоріжжя. Центральним елементом конструкції машини є каркас, який виконує роль основної несучої конструкції та відповідає за жорсткість і стабільність транспортного засобу під час руху по нерівній поверхні дорожнього покриття та являє собою один з основних конструктивних елементів, що забезпечує безпеку екіпажу. Для досягнення оптимального співвідношення міцності та маси каркас рекомендується виготовляти з легких і водночас міцних матеріалів, таких як алюмінієві сплави або сучасні композитні матеріали, які дозволяють зменшити загальну вагу багі без втрати його структурної цілісності та стійкості до механічних навантажень.

При проєктуванні машини особливу увагу необхідно приділяти антикорозійному захисту матеріалів каркаса, оскільки багі часто експлуатуються в умовах навколишнього середовища, для яких характерними є підвищена вологость, пил, хімічна агресивність та значні температурні коливання. Використання спеціальних покриттів, фарбувань або обробки матеріалів дозволяє продовжити строк служби конструкції, при умові одночасного забезпечення її надійності та довговічності. Крім того, правильний вибір матеріалів та технологій виробництва каркаса впливає на динамічні характеристики багі, зокрема, на його маневреність, стійкість під час високошвидкісного руху та здатність долати перешкоди різного типу. Таким чином, розробка конструкції багі на основі високоякісних матеріалів з урахуванням антикорозійного захисту та оптимальної маси є ключовим етапом у створенні транспортного засобу, який здатен ефективно виконувати завдання в найскладніших експлуатаційних умовах.

Аналіз існуючих досліджень доводить про вплив ергономічних показників транспортних засобів на ефективність дій працівників спеціальних підрозділів. З проведеного опитування поліцейських та військових було отримано підтвердження наявності проблем, які пов'язані з використанням транспортних засобів непристосованих до проведення певних оперативних дій, доведено вплив зручності та комфортності транспортних засобів та інших технічних засобів на боєздатність військових та поліцейських [1].

Концепція дизайну легких транспортних засобів ґрунтується на синтезі сучасних інженерних принципів, орієнтованих на користувача, та прихильності до сталого розвитку

позашляхових транспортних засобів. Дизайн багі орієнтований на комфорт і зручність споживачів. Регульовані сидіння забезпечують оптимальну посадку для водіїв різного зросту та комплектації. Органи керування розташовані з урахуванням принципів ергономіки, що дозволяє легко керувати транспортом навіть у складних умовах. Інтуїтивне розміщення елементів управління знижує втому під час тривалих поїздок. Ефективність та задоволення від використання транспортного засобу на бездоріжжі – основний принцип при проєктуванні багі: [2].

Під час вибору матеріалів для створення багі проводиться всебічний аналіз їх міцності, маси та екологічності. Для конструкції ключових елементів використовуються міцні матеріали та їх сплави, які забезпечують надійну та гарантовану експлуатацію транспортного засобу в складних умовах бездоріжжя. Легкі за вагою матеріали інтегруються в конструкцію, щоб зменшити загальну масу транспортного засобу. Це дозволяє досягти балансу між витривалістю конструкції та її маневровістю.

Особлива увага у проєктуванні багі приділяється використанню новітніх матеріалів: перевага надається матеріалам, які не шкодять довкіллю. Застосування високоякісних полімерів, каучуку, кевларових волокон та композитних сплавів, відіграє визначальну роль у забезпеченні оптимального поєднання міцності, легкості, довговічності та економічності конструкції [3-5]. Такі матеріали характеризуються низькою масою, високою стійкістю до корозії, механічних ударів та впливу агресивного зовнішнього середовища, а також надають проєктувальникам значну гнучкість у формуванні дизайну транспортного засобу. Композитні матеріали поєднують легкість та підвищену міцність, що дозволяє значно зменшити масу багі без зниження її структурної надійності.

Металеві сплави, зокрема алюмінієві та титанові, зазвичай використовуються у комбінації з композитами для створення каркасу багі, який забезпечує базову жорсткість і міцність машини, що необхідні для безпечної її експлуатації в екстремальних умовах. Завдяки інтеграції таких інноваційних матеріалів багі зберігає легкість, механічну стійкість та витривалість до зовнішніх факторів, що підвищує ефективність транспортного засобу, його надійність та комфорт для користувачів. В результаті застосування сучасних матеріалів багі здатні ефективно долати складні умови експлуатації та одночасно залишатися доступними, технологічно адаптованими та екологічно прийнятними.

Висновки. Використання сучасних матеріалів для виробництва легких транспортних засобів підвищеної прохідності разом з урахуванням основних вимог дизайну та ергономіки, дозволяє створити багі такими, що відповідають високим стандартам сучасного виробництва, вимогам безпеки і зручності їх використання та є економічно вигідними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Циркулєнко С.С. Аналіз ергономічних показників транспортних засобів, які використовуються в національній поліції України / С. С. Циркулєнко, О. О. Шевченко // Підготовка поліцейських в умовах реформування системи МВС України. Харків, 2018 – С. 127-132
2. Кошель Г.В. Інтегрований підхід до дизайну малогабаритних транспортних засобів: від концепції до впровадження / збірник тез XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і молодих вчених «Молодь: освіта, наука, духовність», 16-17 квітня 2024 року. URL: https://uu.edu.ua/upload/Nauka/Molod_osvita_nauka_duhovnist/2024/molod24.pdf (дата звернення: 10.09.2025).
3. Acquavia, M. (2021). Natural polymeric materials: a solution to plastic pollution from the agro-food sector. Отримано з Polymers: URL: https://doi.org/10.3390/polym13010158 (дата звернення: 10.09.2025)

4. Charles Moore. Plastic pollution. Encyclopedia Britannica. 2019 Mar 12. Електронний ресурс URL:: https://www.britannica.com/science/plastic-pollution. (дата звернення: 10.09.2025)
5. What is Kevlar. DuPont. Retrieved 2007-03-28. URL: https://www.dupont.com/brands/kevlar.html

УДК 629.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕПОКСИДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОРПУСІВ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ І АПАРАТІВ

Банга М.М., Фостик П.П., Литвиненко О.В.
Херсонська державна морська академія

Стрімкий розвиток безпілотних паратів висуває нові вимоги до матеріалів корпусних деталей. Вони мають не лише витримувати значні механічні навантаження й забезпечувати стабільність у широкому діапазоні температур, а й знижувати рівень електромагнітного випромінювання. Традиційні епоксидні полімери характеризуються високою міцністю й низькою теплопровідністю, проте їхня електропровідність недостатня для ефективного екранування радіочастот. Перспективним шляхом підвищення електрофізичних характеристик є введення у об'єм епоксидної матриці електропровідних вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Такі добавки формують у полімері тривимірну мережу струмопровідних каналів і водночас впливають на процес зшивання. При цьому додавання модифікаторів, що містять полярні зв'язки та власний дипольний момент, дозволяє інтенсифікувати реакції полімеризації, підвищити діелектричну проникність і сприяє помірному підвищенню електропровідності [1, 2].

Отже, для експериментальних досліджень використано епоксидний олігомер DER-331, який модифікували ВНТ, вміст яких змінювали у межах 0,010…0,300 мас.ч. Зразки отримано методом ультразвукового диспергування з подальшою полімеризацією за температури 120°С. У роботі досліджено: електропровідність (частотний діапазон 1 кГц–3 ГГц); коефіцієнт відбиття та екранування ЕМ-випромінювання (хвильовід 8–12 ГГц). Експериментально встановлено, що введення ВНТ за вмісту 0,050 мас.ч. приводить до формування матеріалів, питомий опір яких є на рівні 10^9Ом·см, що відповідає класичному діелектрику. При збільшенні вмісту нанонаповнювача до 0,075 мас.ч. спостерігали різке зменшення опору до 10^4–10^5 Ом·см і формування перколяційної сітки ВНТ. Паралельно досліджували стійкість до електромагнітного випромінюванняю Коефіцієнт затухання електромагнітного поля в діапазоні 8–12 ГГц зростав від 3 дБ до 5 дБ для чистої матриці. Тоді, як для композитів наповнених ВНТ за вмісту 0,050…0,100 мас.ч. становив – 25–28 дБ. Подальше збільшення вмісту ВНТ до 0,200…0,300 мас.ч. не давало суттєвого приросту затухання та негативно впливало на показники міцності матеріалу.

Висновки. Отримані комплексні результати дослідження підтверджують класичну теорію перколяції, що полягає у наступному: існує критичний вміст ВНТ, який становить 0,050…0,100 мас.ч., за такого вмісту відбувається різке зростання електропровідності й екранувальних характеристик без суттєвої втрати механічних характеристик. При цьому оптимальний вміст нанонаповнювача забезпечує зміну структури полімеру, за рахунок формування нанокластерів, що створює ефективні канали перенесення як тепла, так і електричного струму, що впливає на радіопоглинальні характеристики епоксикомпозитних покриттів, наповнених вуглецевими нанотрубками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Beziuk G., Krajewski A., Baum T.C., Nicholson K.J., Ghorbani K. Electromagnetic and Electronic Aerospace Conformal Load-Bearing Smart Skins: A Review. IEEE Journal of Microwaves. 2024. 4 (1). P. 13-42.

2. Krajewski D., Oleksy M., Oliwa R., Bulanda K., Czech K., Mazur D., Masłowski G. Methods for Enhancing the Electrical Properties of Epoxy Matrix Composites. Energies. 2022. 15(13). 4562.

УДК 629.1

ЕПОКСИДНІ НАНОКОМПОЗИТИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОРПУСІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ І МОРСЬКИХ АПАРАТІВ

Браїло М.В., Соценко В.В., Романюк В.С.
Херсонська державна морська академія

Сучасний військово-промисловий комплекс є одним із найбільших споживачів полімерних і композитних матеріалів, оскільки їхні можливості практично не обмежені й охоплюють авіаційні, морські та космічні технології. Актуальним питанням сьогодення є створення новітніх полімерних композитів для корпусів безпілотних літальних, надводних і підводних безекіпажних апаратів. Головне завдання таких матеріалів – істотно зменшити радіолокаційну помітність об'єктів та мінімізувати як теплове, так і інфрачервоне випромінювання. Це є ключовим факторами, що забезпечує непомітність безпілотних апаратів під час виконання спеціальних завдань. Однак, при створенні корпусних деталей з використанням епоксидних композитів виникає проблема, яка полягає у тому, що більшість традиційних полімерів є електричними ізоляторами, що обмежує можливість формування у них підвищених електрофізичних характеристик [1]. Тому, у рамках досліджень проведено серію експериментальних досліджень з епоксидними нанокомпозитами, що містять вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Реактопластичні полімерні матриці традиційно відзначаються низькою теплопровідністю. При цьому теплоперенесення в таких системах залежить від ступеня зшивання полімеру, який визначає внутрішньомолекулярну рухливість і впливає на кінетику теплового потоку [2].

Експериментально встановлено, що теплопровідність ненаповненої епоксидної матриці становить λ = 0,22 Вт/м·К. Введення у епоксидну матрицю ВНТ у кількості 0,010…0,050 мас.ч практично не змінює цей показник ($\Delta\lambda \approx$ 0,03 Вт/м·К), хоча вже на цьому етапі фіксується зростання комплексу механічних і теплофізичних характеристик, що пояснюється адсорбційною взаємодією полімеру та наночасток. Підвищення вмісту ВНТ до 0,075…0,100 мас.ч приводить до монотонного підвищення теплопровідності у 2,0–2,7 рази, що узгоджується з класичною теорією теплопровідності полімерів. Підвищення значення досліджуваної характеристики иожна пояснити зменшенням міжчастинкових відстаней та одночасним формуванням наскрізних нанокластерів, які утворюють своєрідні теплопровідні канали в полімерній матриці. Подальше збільшення концентрації ВНТ до 0,100 мас.ч. забезпечує ще більше підвищення теплопровідності (0,70…0,85 Вт/м·К), але супроводжується появою структурних дефектів та зниженням механічної міцності, що створює технологічні проблеми при формуванні корпусних деталей.

Висновки. Отримані результати підтверджують перспективність створення епоксидних нанокомпозитів із поліпшеними теплофізичними характеристиками для використання в конструкціях безпілотних літальних і морських апаратів. Поєднання

електропровідного наповнювача з полімерною матрицею забезпечує формування захисних матеріалів нового покоління, здатних екранувати теплове випромінювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kuzhir P., Paddubskaya A., Plyushch A., Volynets N., Maksimenko S. et al. Epoxy composites filled with high surface area-carbon fillers: Optimization of electromagnetic shielding, electrical, mechanical, and thermal properties. Journal of Applied Physics. 2013. 114(16). 164304.

2. Dunne L.J., Sarkar A.K., Kroto H.W., Munn J., Kathirgamanathan P., Heinen U., Fernandez J., Hare J., Reid D.G., Clark A.D. Electrical, magnetic and structural characterization of fullerene soots. Journal of Physics: Condensed Matter. 1996. 8(13). P. 2127–2141.

УДК 667.64:678.026

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИФІКОВАНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З МІКРОДОБАВКАМИ

Букетов А.В., Стрельченко В.Ю., Юренін К.Ю., Голотенко С.М.
[1]Херсонська державна морська академія
[2]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Для підвищення експлуатаційних характеристик полімерних композитних матеріалів (КМ), які формують на основі епоксидних зв'язувачів, вводять модифікатори, каталізатори чи наповнювачі. Уведення таких добавок за незначного вмісту забезпечує активацію перебігу фізико-хімічних процесів взаємодії, що підвищує вміст гель-фракції у КМ, у результаті чого спостерігають збільшення довговічності матеріалів. У цьому плані вважали за доцільне покращити властивості епоксиматриці за рахунок введення у зв'язувач хімічно активного та екологічно чистого модифікатора *d*-аскорбінової кислоти (ДАК).

Встановлено, що модифікування епоксидних композицій *d*-аскорбіновою кислотою у кількості 0,75…1 мас. % на 100 мас.% епоксидної смоли ЕД-20 забезпечує підвищення адгезійної міцності від 24,8 МПа до 32,6…33,1 МПа, при цьому залишкові напруження зменшуються від 1,4 МПа до 1,2 МПа. Позитивний вплив модифікатора на поліпшення адгезії модифікованої *d*-аскорбінової кислоти епоксиматриці до металевої основи зумовлений хімічною будовою модифікатора, від якої залежить міжмолекулярна взаємодія у гомогенній полімерній системі. При цьому у присутності добавки активується взаємодія з можливістю додаткового формування між макромолекулами модифікатора та основного олігомеру ван-дер-ваальсових, водневих та акцепторних зв'язків. Саме вони суттєво впливають на адгезійні властивості полімерного компаунду до металевої основи.

Методом ІЧ-спектроскопії обґрунтовано механізм взаємодії модифікатора *d*-аскорбінової кислоти й епоксидного олігомеру ЕД-20 при структуроутворенні компаундів, зміст якого полягає у наступному. Вплив модифікатора ДАК на структуру і властивості сіткового полімеру, який формується у компаунді, проявляється як у кінетичному аспекті (модифікатор збільшує швидкість і ступінь реакцій зшивання), так і у контексті того, що сформований полімер відзначається, порівняно з вихідною епоксиматрицею, меншим міжмолекулярним розподілом, а відповідно, обмеженою молекулярною рухливістю в результаті дії енергетичного та ентропійного факторів.

Доведено, що для формування матеріалів з поліпшеними когезійними властивостями у вигляді матриці необхідно застосовувати наступний компаунд: епоксидний олігомер марки ЕД-20 (100 мас.%), твердник поліетиленполіамін (10 мас.%),

модифікатор *d*-аскорбінова кислота (1,5 мас.%). Встановлено, що показники властивостей для такого композиту, порівняно з епоксиматрицею, зростають від 2,8 до 3,5 ГПа (модуль пружності), від 48,0 до 59,4 МПа (руйнівні напруження) та від 7,4 до 8,6 кДж/м^2 (ударна в'язкість). Це зумовлено додатковим формуванням фізичних і хімічних зв'язків у структурній сітці компаунду при його зшиванні у присутності модифікуючої добавки, що позначається на показниках когезійної міцності матеріалу та на його міцності при ударі.

Висновки. Фізико-механічними дослідженнями, а також випробуваннями методом ІЧ-спектроскопії доведено, що саме за оптимальної концентрації добавки максимальна кількість бокових груп та сегментів епоксидного олігомеру й модифікатора бере участь у процесах зшивання компаунду. Саме це є причиною поліпшення когезійної міцності модифікованого КМ, що позначається на показниках його механічних властивостей.

УДК 629.1

ЗМЕНШЕННЯ БІОПЛІВКОУТВОРЕННЯ НА СУДНОВОМУ ОБЛАДНАННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕПОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ

Воробйов П.О., Сапронова А.В., Радул Т.О.
Херсонська державна морська академія

Формування біоплівок є ключовим чинником біокорозії металів у водних екосистемах, що безпосередньо впливає на надійність і довговічність суднових корпусів, елементів навігаційного обладнання, шлюзових споруд та інших гідротехнічних об'єктів. Для галузі морського та внутрішнього водного транспорту це питання набуває стратегічного значення, адже біоплівки не лише прискорюють корозійні процеси, а й підвищують шорсткість поверхні, збільшують гідродинамічний опір і, як наслідок, витрати палива та експлуатаційні витрати флоту. Ефективність захисних полімерних покриттів у таких умовах значною мірою впливає на здатність гальмувати первинну адгезію мікроорганізмів та перешкоджати подальшій колонізації й утворенню зрілої біоплівки. Тому дослідження механізмів протидії обростанню є важливим для розроблення сучасних епоксикомпозитних систем, призначених для експлуатації в морській і річковій акваторії [1].

Для експериментальних досліджень використано дослідні зразки на основі епоксидного олігомера DER-331, який затверджували триетилентетраміном ТЕТА. Як активні добавки використано наносрібло дисперсністю 10…100 нм (вміст якого змінювали у межах 0,050-0,075 мас.ч.) і окситетрациклін дисперсністю 5…10 мкм (вміст якого змінювали у межах 0,5-1,5 мас.ч.).

На основі експериментальних досліджень встановлено, що всі епоксикомпозитні покриття з біоцидними добавками суттєво знижують рівень утворення біоплівок на металевих поверхнях порівнянно з контрольними (Ст3 без покриття). На 120-ту годину експерименту спостерігалося суттєве зменшення об'єму та біомаси біоплівки на зразках із наносріблом (0,050–0,075 мас.ч.), що підтверджується даними скануючої електронної мікроскопії.

При дослідженні трьохкомпонентної біоплівки (*E. coli, Klebsiella pneumoniae, Aspergillus niger*) було встановлено, що антибіотик окситетрациклін у покритті пригнічує бактеріальну складову, однак стимулює розвиток грибкових спор *A. niger*. Це свідчить про можливість зсуву мікробної рівноваги у бік грибкової мікробіоти при тривалому впливі антибіотиків. Додаткові експериментальні дослідження впродовж 14 діб показали, що біоплівки на зразках із біоцидами характеризуються відсутністю повноцінного

екзоклітинного матриксу, що є важливим для їх зрілості та стійкості. Таким чином, епоксидні покриття, наповнені нано та мікробіоцидними добавками здатні пригнічувати розвиток мікроорганізмів на поверхнях транспортних засобів [2].

Висновки. Встановлено, що ведення наносрібла у епоксидний зв'язувач проявляє найбільш виражений ефект щодо пригнічення бактеріальної біоплівки, тоді як антибіотик окситетрациклін пригнічує бактеріальну складову, але сприяє росту грибкових спор, що необхідно враховувати при розробці багатокомпонентних покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Swolana D., Wojtyczka R.D. Activity of Silver Nanoparticles against Staphylococcus spp. Int. J. Mol. Sci. 2022. 23. 4298.

2. Carvalho C.C. Marine biofilms: A successful microbial strategy with economic implications. Front. Mar. Sci. 2018. 5. 126.

УДК 629.1

ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ З БІОЦИДНОЮ ДОБАВКОЮ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У СФЕРІ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ

Сапронов О.О., Шаранов В.Д., Даниленко Д.О.
Херсонська державна морська академія

При експлуатації водного транспорту актуальною проблемою є збереження металоконструкцій суден, які працюють у агресивних середовищах. Використання епоксидних покриттів, наповнених біоцидними наповнювачами дозволяє створювати захисну дію від корозії та водночас біообростання. Такий підхід дозволяє підвищити довговічність корпусів водного транспорту. При цьому епоксидні покриття повинні відповідати не лише комплексу механічних характеристик, а й критеріям екологічної безпеки, адже контакт покриттів з водним середовищем може супроводжуватись дифузією біоцидів, що негативно впливає на морську екосистему. Тому, вагомим є комплексне дослідження токсичності покриттів в умовах *in vitro* з використанням модельних мікроорганізмів. Це дозволяє оцінити біологічну активність у контрольованих умовах (лабораторних), до натурних випробувань у морській воді, що відповідає сучасним тенденціям у суднобудуванні [1-3].

У роботі для формування епоксидних покриттів використано епоксидний олігомер ЕД-20. Для зшивання епоксидної композиції було використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА, вміст якого становив $q = 10$ мас. ч. (вказано на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20). Як біоцидний наповнювач використовували триметоприм ($C_{14}H_{18}N_4O_3$), який є синтетичним антибіотиком здатним пригнічувати розвиток мікроорганізми і бактерії.

Для дослідження екотоксичності захисних покриттів на епоксидній основі застосовано модельні тест-системи *in vitro*. У якості тест-культур використано пробіотичні штами *Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium bifidum*, які є представниками нормальної мікрофлори, та умовно-патогенний штам *Escherichia coli*, що виступає маркером мікробного забруднення води. Випробування проводили шляхом культивування бактерій у живильних середовищах за наявності розроблених покриттів. У процесі експериментальних досліджень визначали:

- динаміку росту клітин після 24, 48 та 72 год культивування;

- зміни адгезивного потенціалу (кількість клітин, здатних прикріплюватись до еритроцитів).

На основі проведених комплексних досліджень встановлено, що більшість модельних покриттів із вмістом триметоприму ($C_{14}H_{18}N_4O_3$) у межах 5,0-25,0 мас.ч. не мали вираженої токсичної дії: чисельність клітин залишалася стабільною (2,1–1,9 lg КУО/мл), а адгезивність знижувалася не суттєво (в межах ІАМ ≥ 1 бак.кл/еритроцит). Заслуговує уваги зразок покриття, що містив у своєму складі триметоприм за вмісту 30,0 мас.ч. Таке покриття створює сильний інгібуючий ефект, обумовлений зниженням чисельності *E. coli* більш ніж на один логарифмічний порядок, а саме з 1,9 lg до 0,95 lg КУО/мл. Це свідчить про потенційну небезпеку надмірної концентрації біоциду у епоксидному покритті, що може порушувати мікробний баланс у морських і прісноводних екосистемах. Додатково, встановлено, що адгезивний потенціал *E. coli* складав 6,8-6,1 бак.кл/еритроцит для досліджуваних епоксидних покриттів. Після 72-годинного контакту із модельним покриттям, що містить 10,0 мас.ч. триметоприму він зменшувався до 2,9 бак.кл/еритроцит, що підтверджує здатність композитного покриття гальмувати ранні стадії формування біоплівок [4, 5].

Висновки. На основі комплексних результатів дослідження встановлено, що епоксикомпозитні покриття, наповнені триметопримом ($C_{14}H_{18}N_4O_3$) за помірного вмісту – 5,0-25,0 мас.ч. не проявили токсичного впливу. Це вказує на можливість їх практичного застосування для поверхонь корпусів водного транспорту. Встановлене зниження адгезивності бактерій після контакту з композитами, що містять у своєму складі 10,0 мас.ч. триметоприму. Це свідчить про ефективність покриттів для запобігання біообростанню корпусів суден, що напряму пов’язано з економією пального, підвищенням швидкісних характеристик і зменшенням експлуатаційних витрат.

Публікація містить результати досліджень, що фінансувалися у рамках іменної стипендії Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук за 2025 рік (Постанова Верховної Ради України від 21 серпня 2025 року № 4583-IX).

ЛІТЕРАТУРА

1. Verma S., Mohanty S., Nayak S.K. A review on protective polymeric coatings for marine applications. J. Coat. Technol. Res. 2019.16. P. 307–338.
2. Verma S., Das S., Mohanty S., Nayak S.K. A facile preparation of epoxy-polydimethylsiloxane (EP-PDMS) polymer coatings for marine applications. J. Mater. Res. 2019. 34. P. 2881–2894.
3. Korde J.M., Sreekumar A.V., Kandasubramanian B. Corrosion inhibition of 316L-type stainless steel under marine environments using epoxy/waste plastic soot coatings. SN Appl. Sci. 2020. 2. P. 1–13.
4. Mikhailov V.V., Andryukov B.G., Lyapun I.N. Search and Selection of Bacteriocin-Producing Strains of Marine Bacteria in the Aquatic Ecosystems of the Sea of Japan. Mol. Genet. Microbiol. Virol. 2019. 34. P. 216–219.
5. Mehta M., Liu Y., Waterland M., Holmes G. Monitoring the mode of action of synthetic and natural biocides against Aeromonas hydrophila by Raman spectroscopy and chemometrics. J. Leather Sci. Eng. 2021. 3. P.1–15.

УДК 667.64:678.026

НАНОГЕТЕРОГЕННІ ЕПОКСИДНІ ПОКРИТТЯ З БІОЦИДНИМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ЗАХИСТУ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Сапронова Л.О., Торопенко В.В.
Херсонська державна морська академія

Сучасні суднові та промислові об'єкти функціонують в умовах постійного біокорозійного навантаження, що пов'язано з інтенсивним розвитком мікроорганізмів на поверхні металів. Використання полімерних покриттів на основі епоксидних олігомерів у поєднанні з антибактеріальними наповнювачами є перспективним напрямом підвищення їх експлуатаційної довговічності. Додатковий захист таких систем може бути реалізований шляхом введення до полімерної матриці біоцидно активних наповнювачів, зокрема антибіотиків (триметоприму, окситетрацикліну), наночастинок срібла та інших функціональних модифікаторів. Ці компоненти не лише забезпечують тривалий антибактеріальний ефект, але й змінюють фізико-хімічні властивості поверхні покриття, знижуючи ймовірність початкового прикріплення мікробних клітин і подальшого розвитку біоплівки. Таким чином розроблення та дослідження подібних епоксидних композитів має вагоме значення для підвищення надійності суднових конструкцій, скорочення експлуатаційних витрат та забезпечення екологічної безпеки водних транспортних систем [1-3].

Отже, на основі дослідження морфології поверхні зразків полімерних покриттів методом скануючої електронної мікроскопії показало, що епоксидна матриця характеризується гомогенною структурою. Водночас, раціональне введення двох наповнювачів окситетрацикліну (1,5 мас.ч.) і наносрібла (0,075 мас.ч.) сприяє утворенню нанопористої гетерогенної структури з порами розміром 0,1–1,0 нм. Така структура зумовлена рівномірним розподілом наночастинок срібла в об'ємі полімеру та їх комплексоутворенням з функціональними групами епоксидного олігомеру. Наявність нанопористої поверхні сприяє регульованому вивільненню іонів срібла, що забезпечує підвищений антибактеріальний ефект. Важливим аспектом є те, що наночастки срібла характеризуються адгезивним ефектом до клітинної стінки бактерій, що приводить до її руйнування та порушення метаболізму. В кінцевому результаті подібний ефект забезпечує загибель мікроорганізмів. Окрім того, результати енергодисперсійного рентгенівського аналізу виявили на поверхні елементи C, O, Fe, Cl. Їх наявність може відноситись як до полімерній матриці (C, O), так і домішок-біоцидів (Cl з окситетрацикліну, Fe – домішки наносрібла), що в комплексі впливають на властивості захисних покриттів.

Висновки. Введення окситетрацикліну та наносрібла у склад епоксидної матриці забезпечує утворення наногетерогенної структури з пористістю у межах 0,1–1,0 нм. Така структура сприяє рівномірному вивільненню іонів срібла, що зумовлює стабільний антибактеріальний ефект захисного покриття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mikhailov V.V., Andryukov B.G., Lyapun I.N. Search and Selection of Bacteriocin-Producing Strains of Marine Bacteria in the Aquatic Ecosystems of the Sea of Japan. Mol. Genet. Microbiol. Virol. 2019. 34. P. 216–219.
2. Swolana D., Wojtyczka R.D. Activity of Silver Nanoparticles against Staphylococcus spp. Int. J. Mol. Sci. 2022. 23. 4298.
3. Hamad, A.; Khashan, K.S.; Hadi, A. Silver Nanoparticles and Silver Ions as Potential Antibacterial Agents. J. Inorg. Organomet. Polym. Mater. 2020. 30. P. 4811–4828.

УДК 681.518.5:621.431.74

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНТРОПІЙНОГО ПІДХОДУ

[1]Поливода В.В., [2]Поливода О.В., [1]Сіманенков А.Л.
[1]Херсонська державна морська академія
[2]Херсонський національний технічний університет

У процесі розробки систем діагностики та моніторингу суден все частіше використовується комплексна автоматизація обладнання зі збільшенням ступеня оперативної комп'ютерної обробки інформації. Удосконалення методів обробки інформації в системах моніторингу та діагностики стану технічного обладнання зумовлене збільшенням кількості контрольованих параметрів, жорсткішими вимогами до підтримки оптимальних режимів роботи та розробкою методів оперативної діагностики та прогнозування стану обладнання. Оскільки головний двигун судна, як складний об'єкт керування, складається з певного набору компонентів та систем, технічний стан кожного компонента визначається групою діагностичних параметрів [1].

Фундаментальним завданням оперативної діагностики стану головного двигуна судна є порівняння поточного технічного стану з деяким еталонним станом для підтримки прийняття рішення [2] технічним персоналом про допустимість подальшої експлуатації об'єкта. Оперативна технічна діагностика проводиться без будь-якого демонтажу (розбирання) об'єкта та полягає у систематичному визначенні всіх параметрів, що характеризують режим роботи, зовнішні умови, використовувані паливо та мастило, перебіг робочого процесу, технічний стан робочих вузлів та деталей, а також функціонування систем обслуговування. Тому важливим завданням є розробка методів, моделей, алгоритмів та програмних модулів оперативної діагностики, універсальних та застосовних до будь-якого складного технічного об'єкта, які дозволять виявити несправність за мінімальний інтервал часу.

Недоліком існуючих систем діагностики стану головного двигуна судна є усереднення результатів вимірювань його робочих параметрів, що призводить до втрати найбільш інформативної частини діагностичної інформації, яка повинна використовуватися в процесі прийняття рішень технічним персоналом.

Для вдосконалення методу експлуатаційної діагностики було проведено аналіз робочих параметрів головного суднового двигуна Wärtsilä RT-flex50-B, що характеризує режим роботи, зовнішні умови, використовуване паливо та оливи, а також хід робочого процесу. Робочі процеси двигуна в кожному циліндрі піддаються випадковим збуренням, що вимагає використання методів обробки часових рядів, математичної статистики, теорії інформації та теорії випадкових процесів для їх опису.

Математичні моделі динаміки контрольованих параметрів для використання в процесі діагностики стану технічних об'єктів доцільно будувати за допомогою методів регресійного аналізу часових рядів [3].

Авторегресійна модель базується на припущенні, що значення процесу $y[k]$ лінійно залежить від певної кількості попередніх значень того ж процесу $y[k-1],...,y[k-n]$.

Для досягнення більшої точності у визначенні контрольованого параметра доцільно поєднати авторегресійну та ковзну середню моделі. Тоді аналізований часовий ряд контрольованих параметрів можна представити у вигляді моделі:

$$y[k]=a_0y[k-1]+a_1y[k-2]+a_2y[k-3]+...+a_{n-1}y[k-n]. \quad (1)$$

Наступним важливим завданням є розробка алгоритму діагностики головного двигуна судна на основі оцінки нормалізованого енергетичного спектру вимірюваних сигналів та спектральної ентропії. Діагностика на основі спектральної ентропії складається з послідовності таких етапів [4].

Спектр обчислюється для кожного s -го сегмента довжини ΔN як

$$Y_s(k) = \sum_{n=0}^{\Delta N-1} y_s(n) e^{-j(2\pi/\Delta N)nk},\ k \in \overline{0, \Delta N-1},\ s \in \overline{1, N/\Delta N}. \tag{2}$$

Нормалізований енергетичний спектр розраховується за формулою

$$\|W_s(k)\| = \frac{W_s(k)}{\sum_{m=0}^{\Delta N-1} W_s(m)},\ \text{де}\ W_s(k) = |Y_s(k)|^2. \tag{3}$$

Для подавлення вузько-смугових шумів і широко-смугового білого шуму використовується правило

$$\|W_s(k)\| = 0,\ \text{якщо}\ \ \delta_1 < \|W_s(k)\| < \delta_2. \tag{4}$$

Наступним етапом є обчислення спектральної ентропії:

$$H_S = \sum_{k=0}^{\Delta N-1} \|W_s(k)\| \lg \|W_s(k)\|. \tag{5}$$

Фільтрація здійснюється за алгоритмом медіанного згладжування послідовності $H_1,...,H_L$, $L = N/\Delta N$ і отримується послідовність оцінок ентропії $\widetilde{H}_1,...,\widetilde{H}_L$.

Адаптивний поріг розраховується у формі

$$\gamma = \left(\frac{\max \widetilde{H}_S + \min \widetilde{H}_S}{2} \right) \mu, \tag{6}$$

де μ — параметр, визначений експериментально.

Якщо $\gamma > \widetilde{H}_S$, то відрізок сигналу вважається таким, що не містить відхилень контрольованих параметрів від номінальних значень ($P = 1$). Якщо $\gamma < \widetilde{H}_S$, то відрізок сигналу вважається таким, що містить відхилення контрольованих параметрів від номінальних значень ($P = 0$).

На основі розроблених математичних моделей та запропонованого методу діагностики було спроектовано структурну схему автоматизованої системи оперативної діагностики стану головного двигуна судна, показану на рис. 1. Технічний стан кожного вузла головного двигуна судна визначається групою діагностичних параметрів. Структура системи оперативної діагностики включає: базу даних, модулі для побудови математичних моделей контрольованих параметрів з перевіркою адекватності, інтерактивний інтерфейс для взаємодії з технічним персоналом. База даних сформована з масивів численних значень контрольованих параметрів. Підсистема ідентифікації несправностей оцінює поточний стан контрольованих параметрів. Результат аналізу видається пристроєм у вигляді сигналу про нормальний технічний стан двигуна або про наявні відхилення.

Реалізація системи оперативної діагностики на основі запропонованого алгоритму діагностики, що базується на методах визначення спектральної ентропії та логіко-часової обробки, дозволяє формалізувати процедури інформаційної підтримки технічного персоналу (особи, що приймає рішення) при оцінці технічного стану головного двигуна судна за контрольованими параметрами.

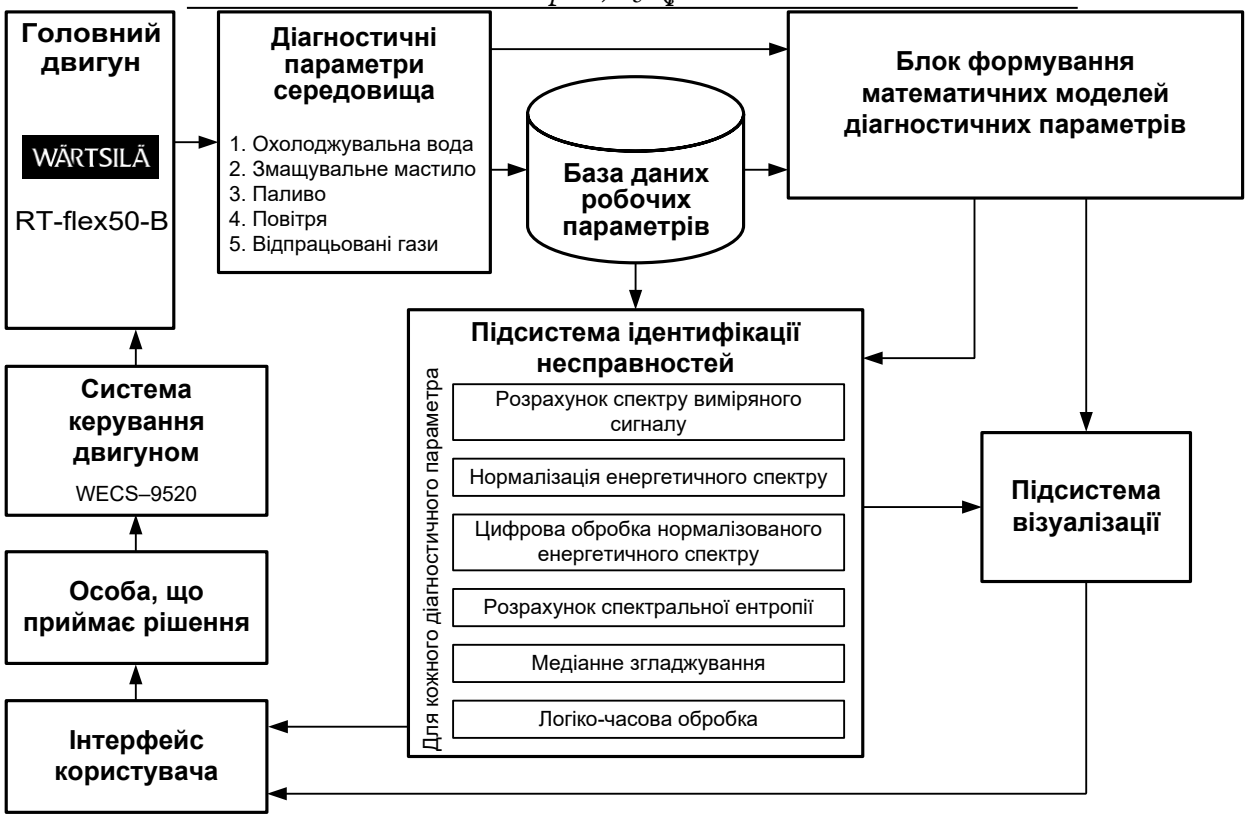


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої системи оперативної діагностики

Висновки. У дослідженні розроблено метод оперативної діагностики стану головного двигуна судна з використанням логіко-часової обробки сигналів вимірювань контрольованих параметрів на основі ентропійного підходу. Запропоновано метод аналізу сигналів з використанням математичної моделі авторегресійної ковзної середньої для ідентифікації діагностичних параметрів. На основі розроблених математичних моделей та запропонованого методу діагностики спроектовано автоматизовану систему оперативної діагностики стану головного двигуна судна, яка дозволяє своєчасно виявляти критичні режими роботи технологічного обладнання в режимі реального часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Charchalis, A. (2011). Diagnostics of vessel power plants. *Journal of KONES*, 2011, 18(2), 41–47.
2. Christian Velasco-Gallego, Iraklis Lazakis (2022). RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery. *Expert Systems with Applications*, Volume 204, 2022, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117634.
3. Makridakis, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PLoS ONE*, 13(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889
4. Kondratieva, I. U., Rudakova, H. V., Polyvoda, O. V., Lebedenko, Yu. O., Polyvoda, V. V. (2019). Using entropy estimation to detect moving objects. *2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development*, October 22–24, 2019, Kyiv, Ukraine Proceedings, P. 270–273. https://doi.org/10.1109/APUAVD47061. 2019.8943839

УДК 629.078

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ ЧЕРЕЗ ТЕРМІНАЛИ

Луб'яний П.В., Кузьменко І.О.
Херсонський національний технічний університет

Сьогодні надзвичайно зросло значення застосування термінальних технологій у макро- і мікрологістичних системах. Обґрунтована передача логістичних операцій спеціалізованим підприємствам дозволяє виконувати їх більш прогресивним у технічному й технологічному відношенні способом. Розвиток терміналів є необхідною умовою формування в країні сучасної транспортної інфраструктури.

Термінальні комплекси використовують для раціоналізації системи руху вантажів і товарів, підвищення ефективності функціонування транспортних систем, забезпечення високого рівня транспортно-логістичного сервісу.

Завдання терміналів полягає в забезпеченні єдності транспортного процесу, вантажопереробки й тимчасового складування товарів при передачі вантажів із магістрального транспорту на транспорт підвозу – розвозу вантажів і при інших перевезеннях у змішаному сполученні.

У зв'язку з цим для підвищення якості транспортного обслуговування відправників і одержувачів вантажів, а також ефективності доставки вантажів при постачанні підприємств необхідно впроваджувати термінальні системи доставки вантажів на основі комплексу організаційних, технічних і економічних заходів.

При міжміських перевезеннях альтернативними транспортно- технологічними схемами доставки вантажів при постачанні підприємств є прямий варіант (транзитний) за участю автомобільного транспорту та термінальне перевезення.

Ефективне функціонування логістичних транспортно-розподільних систем здійснюється шляхом оптимізації управління й планування товарно-матеріальних і пов'язаних з ними інформаційних і фінансових потоків на основі системного підходу й узгодження економічних інтересів всіх учасників логістичної системи.

Основним завданням терміналів є організація перевезень дрібних відправок. Тому доцільність застосування терміналів визначається шляхом порівняння термінального та прямого перевезення дрібних відправок. В умовах ринкових відносин це порівняння проводиться за витратами (тарифами) відправників та одержувачів на доставку вантажу на всьому шляху від відправника до одержувача з урахуванням якості та умов роботи всіх учасників доставки (ВВ, ВО, перевізника і експедитора).

При визначенні доцільності застосування терміналів для порівняння приймаються такі схеми перевезення дрібних відправок.

1) Термінальне перевезення.
2) Пряме перевезення.

При термінальному перевезенні збір вантажу та доставка його на термінал відправлення, а також розвіз з терміналу в пункті призначення проводиться автомобілями середньої та малої вантажопідйомності. При прямому перевезенні збір і розвіз відправок здійснюється безпосередньо великовантажним авто, що виконує міжміське перевезення.

Умовою ефективності термінальних перевезень є

$$R_{\text{терм}} \leq R_{\text{авт}}, \qquad (1)$$

де $R_{терм}$ - витрати при термінальних перевезеннях, грн; $R_{авт}$ – витрати при прямому перевезенні, грн.

Отже, витрати по всьому логістичному ланцюгу є критерієм оцінки для визначення раціональної транспортно-технологічної схеми доставки дрібнопартіонних вантажів в міжміському сполученні. Таким чином, зважаючи на запропонований критерій оцінки, витрати на доставку вантажів в міжміському сполученні будуть мати такий математичний вигляд.

При доставці вантажів автомобільним транспортом за прямим варіантом.

R_1 – витрати на накопичення, зберігання готової продукції у відправника та очікування виконання вантажних операцій

$$R_1 = \frac{n}{2 \cdot Q_{\text{відпр}}} \cdot n \cdot C_{\text{зб}}^{\text{відпр}} \quad (2)$$

де $C^{відпр}_{зб}$ - вартість зберігання 1 т вантажу за добу, грн; n – розмір партії вантажу, т; $Q_{відпр}$ – виробнича потужність відправника, т.

Висновки. Запропонована методика при її застосуванні дозволить визначити межі доцільності перевезень вантажів автомобільним транспортом через термінали в міжміському сполученні. При відповідних вихідних даних можна визначити раціональну дальність перевезень і оптимальну партію відправки для різних варіантів доставки та розглядати заходи, які потребують поліпшення технічного оснащення і раціоналізації технології.

Слід зауважити, що зазначені складові витрат приймаються за договірними тарифами, а однакові при обох варіантах витрати не враховані.

На величину витрат і значень показників, що враховуються при порівнянні термінальних та прямих перевезень вантажів, а також на якість обслуговування відправників, одержувачів істотно впливають особливості доставки і митне оформлення вантажів у міжнародному сполученні. Особливості полягають у великій складності розвозу та збору дрібних відправок при прямому перевезенні через те, що кожне відкриття, закриття кузова автомобіля, навантаження та розвантаження вантажу має проводитися під митним контролем на спеціально виділених для цього складах тимчасового зберігання вантажів у клієнтів або митних організацій.

Такий порядок призводить при розвозі (зборі) до тривалих простоїв автопоїзда та значних організаційних труднощів. За відсутності оформленого складу тимчасового зберігання у одержувача розвантаження проводиться на складі митних організацій з прийманням та вивозом вантажу одержувачем. Оскільки при термінальному перевезенні митне оформлення проводиться на терміналі, розвіз (збір) вантажу може бути проведений з будь-якого складу клієнта і будь-яким автомобілем, відповідної ваги відправки, що перевозиться.

При прямих перевезеннях виникають також труднощі в підборі за короткий час достатньої кількості партій для завантаження великовантажного авто через пред’явлення відправок до перевезення в різні дні місяця. Термінал за рахунок зберігання вантажу компенсує цю нерівномірність та забезпечить більш повне завантаження автопоїзда виконуючого МПВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романович Є. В., Козарь Л. М., Запара В. М. Виробнича логістика та управління виробництвом : навч. посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2007. 302 с

2. Войтович О.А., Кузьменко І.О., Луб’яний П.В. Проєктний аналіз транспортного підприємства Навчальний посібник. Херсон: Книжкове вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2024. – 280 с. ISBN 978-617-8187-08-8 (електронне видання) – 280 с.

3. Войтович О.А., Кузьменко І.О., Луб’яний П.В. Особливості комерційної діяльності при змішаних комбінованих перевезеннях. Системи та технології. (правонаступник наукового журналу “Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”) .№ 1 (67). Видавничий дім «Гельветика» - 2024 р. С. 80-84

УДК 656.02

СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО РУХУ НА ДВОРІВНЕВИХ ПАРКОВКАХ

Славич В.П., Волошанський В.О.
Херсонський національний технічний університет

Сучасні умови інтенсивного міського середовища вимагають не лише будівництва багаторівневих парковок, але й розробки науково обґрунтованих принципів організації транспортного руху в їх межах. Особливу складність становлять дворівневі парковки з кількома точками переміщення між рівнями (пандуси, ліфти або механічні платформи), оскільки виникає проблема перехрещення потоків, нерівномірного завантаження сполучень та збільшення часу маневрування. Це обумовлює необхідність застосування методів математичного програмування для пошуку оптимальних схем організації руху.

Проблему можна сформулювати у вигляді транспортної задачі зі специфічними обмеженнями. Нехай маємо два рівні паркінгу: верхній (рівень 1) та нижній (рівень 2). Водії прагнуть дістатися з в'їзду до певної зони паркування, використовуючи одну з декількох точок переміщення між рівнями. Позначимо точки переміщення як множину:

$$P=\{p_1, p_2, \ldots, p_m\}.$$

Кожна точка p_j має обмежену пропускну здатність C_j (кількість автомобілів за одиницю часу).

Нехай x_{ij} – кількість автомобілів, які з сектора i рухаються через точку p_j.

Математична модель оптимізації організації руху може бути подана у вигляді:

1) Цільова функція:

$$\min Z = \sum_i \sum_j t_{ij} x_{ij},$$

де t_{ij} – середній час переміщення через точку p_j для потоку із сектора i.

Мінімізується сумарний час руху автомобілів.

2) Обмеження балансу потоків:

$$\sum_j x_{ij} = d_i, \forall_i.$$

де d_i – попит на виїзд/перехід з сектора i.

3) Обмеження пропускної здатності точок переміщення:

$$\sum_i x_{ij} \leq C_j, \forall_j.$$

4) Умови невід'ємності:

$$x_{ij} \geq 0, \forall_{i,j}.$$

Таким чином, задача формулюється як класична задача лінійного програмування, де рішення дає оптимальний розподіл потоків автомобілів через кілька точок переміщення між рівнями.

Для реальних умов організації руху на дворівневій парковці доцільно застосовувати більш складні методи математичного програмування. Наприклад:

1. Задача багатокритеріальної оптимізації. У практиці важливо мінімізувати не лише час переміщення, але й кількість конфліктних точок, споживання енергії (для механічних платформ) чи довжину маршруту. Це призводить до багатокритеріальної постановки:

$$\min (Z_1, Z_2, Z_3),$$

де Z_1 – час руху,
Z_2, – кількість конфліктів,
Z_3 – довжина маршруту.

Для вирішення необхідно застосовувати методи згортки критеріїв або метод Парето-оптимальності.

2. Мережеві моделі. Парковку можна розглядати як орієнтований граф, де вершини відповідають зонам паркування та точкам переміщення, а дуги — можливим напрямкам руху. Задача зводиться до пошуку оптимальних потоків у транспортній мережі. Використовуються методи максимального потоку або мінімальної вартості потоку.

3. Цілочисельне програмування. Якщо необхідно визначити дискретні рішення, наприклад, які пандуси використовувати лише для підйому чи лише для спуску, вводяться змінні типу

$$y_j \in \{0,1\},$$

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{якщо точка } p_j \text{ використовується для підйому} \\ 0, \text{якщо точка } p_j \text{ використовується для спуску} \end{cases}$$

В такому випадку задача переходить у клас задач цілочисельного програмування.

Застосування зазначених методів дає можливість отримати не лише загальні принципи організації руху, але й кількісні параметри: оптимальний розподіл транспортних потоків, вибір напрямків руху на пандусах, рекомендації щодо інформаційної підтримки водіїв. Це дозволяє уникати перевантаження окремих точок переміщення та формувати збалансовану систему руху.

Висновки. Таким чином, моделювання організації руху на дворівневих парковках з декількома точками переміщення між рівнями повинно базуватися на методах математичного програмування — від класичних моделей лінійного програмування до задач багатокритеріальної оптимізації та цілочисельних моделей. Такий підхід забезпечує раціональний розподіл потоків, зменшення транспортних конфліктів, підвищення безпеки й ефективне використання інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

2. Поліщук, І. А. (2024). Особливості впровадження систем автоматизованого паркування у великих містах. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, (2). https://doi.org/10.31649/2307-5376-2024-2-1-5

3. Духняк, І., & Терлецька, Ю. (2022). Аналіз світового досвіду проектування паркінгів у міському середовищі. *Містобудування та територіальне планування*, (80), 166–179. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.166-179

4. Нападій О., Цьопа Н., Батрак Є. (2023) Система автоматизації пошуку місць для паркування. *Адаптивні системи автоматичного управління.* Том 2, № 43. https://doi.org/10.20535/1560-8956.43.2023.292264

4. Kreshchenko T. Розпізнавання вільних місць для паркування автомобілів із використанням глибинного навчання / T. Kreshchenko, Y. Yushchenko //Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. –Лютий 2023.–Т. 5. –С. 72–78.DOI:10.18523/2617-3808.2022.5.72-78.

5. S. Ma, H. Jiang, M Han Research on Automatic Parking Systems Based on Parking Scene Recognition. *Advancing Technology for Humanity*. Oct. 2017. Vol.5. P. 21901–21917. DOI:10.1109/ACCESS.2017.2760201

УДК 677.055

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

Носов О.В. , Ковальов Ю.А.
Київський національний університет технологій та дизайну.

В умовах глобальної конкуренції та зростаючих вимог до швидкості виробничого циклу, стає очевидна потреба у вдосконаленні транспортного ланцюга.

Пріоритетним завданням є оптимізація транспортування, завантаження та перевантаження об'єктів виробництва для мінімізації витрат зусиль, часу та забезпечення безпеки працівників.

Для оптимізації транспортно-логістичних процесів, розробляють план маршрутизації продукції – об'єктів транспортування. Для цього використовують метод блок-схеми. Блок-схема – це графічне представлення виробничого процесу. Даний метод використовують для визначення найефективнішого порядку виконання операцій [1]. Інший метод розрахунку маршрутизації є діаграма Ганта. Відображає послідовність операцій та зв'язки між ними[1].

Основними засобами переміщення об'єктів транспортування продукції в транспортно-логістичних системах є:

- конвеєрні системи (гвинтові, роликові, стрічкові, вібраційні, приводні, безприводні (гравітаційні) та ін.) [2,8,9], що дозволяють ефективно використовувати площу виробничого приміщення, скоротити час подачі продукції (вантажу) та її контроль.
- автоматично керовані транспортні засоби (AGV) та автономні мобільні роботи (AMR). Системи AMR більш універсальні, можуть приймати рішення та не потребують встановленої інфраструктури для навігації [3].
- пневматичні системи транспортування, використовуються для переміщення дрібної, сипучої продукції, вантажу.

Світова практика використовує такі засоби завантаження-розвантаження та перевантаження:

- захватні пристрої – механічні, які діють по заздалегідь запрограмованому алгоритму, та роботизовані – адаптивні. Роботизовані захвати використовують для роботи з об'єктами, які вимагають «делікатного» відношення [4,8,9]. Захватні пристрої обладнані різними механізмами для утримання об'єктів: еластичними камерами, струменеві та ін
- підйомно-транспортні механізми: крани-маніпулятори, штабелери, навантажувачі та ін.
- автоматизовані сортувальні лінії, які скорочують час на обробку продукції, транспортування, зменшують кількість ручної роботи, індивідуальне виробництво ліній, з урахуванням специфіки підприємства [5].

Важливою світовою практикою є інтеграція методів транспортування , завантаження та перевантаження продукції об'єктів виробництва за допомогою системи управління складом WMS [6,7] – тобто цифровізація та інтеграція. Дана система дозволяє об'єднати в єдиний організм весь перелік використовуваних на підприємстві методів та систем транспортування. Система WMS дозволяє використовувати штучний інтелект для аналізу та вдосконалення процесів транспортування, завантаження та перевантаження.

Висновки:

Сучасні методи транспортування, завантаження, перевантаження об'єктів виробництва базуються на синтезі механізованих та автоматизованих систем. Досвід різних країн підтверджує, що застосування конвеєрних систем в поєднанні з роботизованими комплексами, автоматично керованими транспортними засобами та інтелектуальних систем управління (WMS) дозволяє суттєво підвищити ефективність транспортно-логістичних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтернет сторінка компанії Katana MRP https://katanamrp.com/light-manufacturing/
2. Інтернет сторінка компанії «Склад Сервіс» (SSK.UA) https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klassifikaciya-i-sfera-primeneniya-482
3. Рассел Кіт , Хунг Мань Ла. Огляд автономних мобільних роботів для складського середовища /Лабораторія передової робототехніки та автоматизації ARA , Університет Невади 2024 рік//https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.08333
4. І.І. Павелко, В.А. Мажара (2010 р.) Роботизовані технологічні комплекси // КНТУ, м. Кіровоград.
5. Інтернет сторінка компанії Element Logic https://www.elementlogic.net/us/blogs/types-of-sortation-systems/
6. Абу Сієд Удосконалення систем управління складом: оптимізація процесів завантаження-розвантаження, кондиціонування, пакування та маркування за допомогою адаптивної технології штучного інтелекту /Абу Сієд , Міжнародний журнал наукових досліджень та інженерних тенденцій 2024 рік/ https://www.researchgate.net/publication/381217736_Advancing_Warehouse_Management_Systems_Optimizing_Loadingnloading_Conditioning_Packing_and_Marking_Processes_with_Adaptive_AI_Technology
7. Інтернет сторінка Hopstack https://www.hopstack.io/blog/warehouse-processes?utm_source=chatgpt.com
8. Ковальов Ю.А. Аналіз об'єктів транспортування в логістичних системах взуттєвого виробництва / Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Лавренчук В.І. – Київ : Легка пром-сть. – 2016. – №2. – С. 25-27.
9. Ковальов Ю.А. Огляд та аналіз сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування / Ковальов Ю.А., Плешко С.А. – Київ : Легка пром-сть. – 2017. № 1. – С. 21-29.

УДК 625.03

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ З ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМОЮ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ

Кузишин А.Я.
Національний університет «Львівська політехніка»

Під час експлуатації пасажирського рухомого складу особливе значення має забезпечення високого рівня комфорту для пасажирів. Одним із показників комфортабельності рухомого складу виступає показник плавності ходу рухомого складу, який залежить від інтенсивності та спектрального складу коливань вагона.

Показник плавності ходу W визначається за формулою [1-2]:

$$W = \alpha_{\text{вер/гор}} \cdot \tilde{a}_{kj}^{0,3} \quad (1)$$

де $\tilde{a}_{kj}$ – середнє квадратичне значення віброприскорення на виході коригувального фільтра, м/с^2; $\alpha_{\text{вер/гор}}$ – коефіцієнти для вібрацій, що діють у вертикальній та горизонтальній площині.

З метою дослідження комфортабельності перевезення пасажирів проведено натурні експериментальні динамічні випробування моторвагонного рухомого складу, обладнаного пневматичною системою ресорного підвішування. Схема оцінювання показника плавності ходу рухомого складу в експлуатаційних умовах наведена на рис. 1.

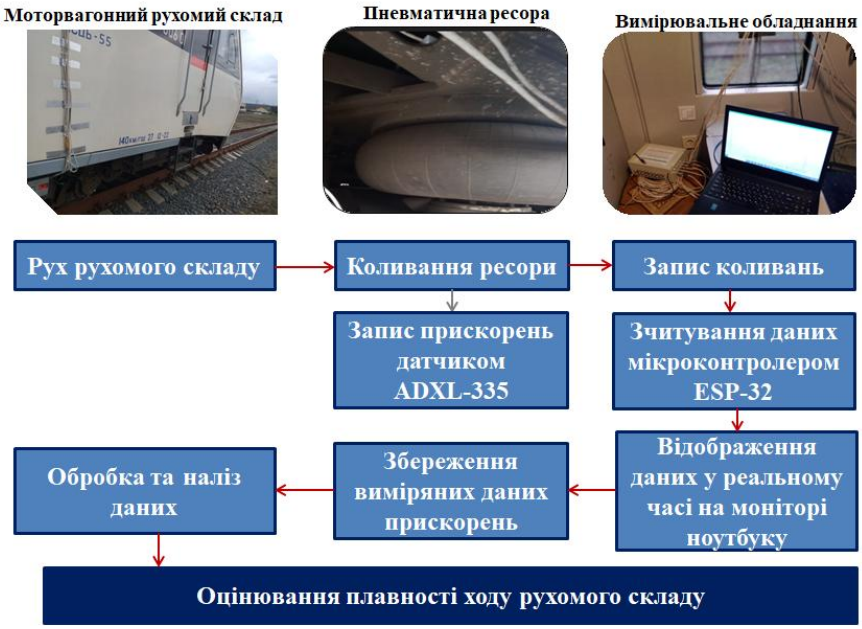


Рисунок 1 – Схема проведення динамічних випробувань моторвагонного рухомого складу

У результаті обробки сигналів в програмному комплексі Matlab встановлено, що середнє квадратичне значення прискорень у вертикальному напрямку становить 0,278–0,312 м/с², в горизонтальному – 0,206–0,251 м/с². Таким чином, встановлено, що показник плавності ходу *W* для вертикального та горизонтального напрямків знаходиться в межах – 2,96–3,06 та 2,91–3,09 відповідно, що забезпечує комфортабельність перевезення пасажирів.

Висновки. Застосовуючи сучасні аналогові датчики прискорень та мікроконтролер, отримано записи вертикальних та горизонтальних прискорень кузова під час руху рухомого складу рейковою колією. Аналіз отриманих даних свідчить про відповідність показників плавності ходу сучасного моторвагонного рухомого складу вимогам до комфортабельності пасажирських перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. СОУ МПП 45.060-204:2007. (2007). Вагони пасажирські. Плавність руху. Методи визначення [Текст]. На заміну ОСТ 24.050.1685; чинний з 2008.04.01. [Б. м.: б. в.].

ДСТУ UIC 513:2004. (2006). Вагони магістральні пасажирські. Настанова щодо оцінювання комфорту пасажирів залежно від вібрації (UIC 513:1994, IDT). Київ: Держспоживстандарт України.

УДК 629.365

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

Пелех О.Р., Зінько Р.В.
Національний університет «Львівська політехніка»

Шасі автомобіля є однією з найважливіших частин автомобіля з точки зору безпеки. Створення підвіски, яка забезпечує як плавність ходу, так і безпеку, є викликом як для дослідників, так і для конструкторів. Аналіз коливальних процесів в автомобілі необхідний для оцінки поведінки автомобіля при його русі. Таке дослідження дає можливість оцінити якість підвіски, перш за все, а також уявити собі коливальний процес в динаміці. Проектування підвіски, що відповідає змінним умовам руху, можливе при використанні пружин змінної жорсткості [1].

Були проведенні експериментального дослідження пружин підвіски ЗАЗ постійної і змінної жорсткості [2].

Досліджувалися пружини з сталим діаметром дроту та зі змінним діаметром дроту.

Параметри пружини з сталим діаметром дроту (Рисунок 1): маса – 1,80 кг, діаметр 1 – 12 мм, зовнішній діаметр – 154 мм, довжина – 228 мм.

Параметри пружини з змінним діаметром дроту (Рисунок 2): маса – 2,2 кг, діаметр 1 – 8,4 мм, діаметр 2 – 14 мм, діаметр 3 – 8 мм, зовнішній діаметр – 156 мм, довжина – 240 мм.



Рисунок 1 – Пружина з сталим діаметром дроту



Рисунок 2 – Пружина зі змінним діаметром дроту

При експериментальних дослідженнях були отримані наступні результати**.**

Пружна характеристика пружини з постійним діаметром дроту має нелінійну прогресивну характеристику (Рисунок 3). При навантаженні пружного елемента жорсткість зростає з 2,3 кН/м до 3,0 кН/м при навантаженні 4 кН (збільшується на 30%). При цьому при розвантаженні жорсткість знижується до 2,1 кН/м при навантаженні 0,5 кН (знижується на 42%).

Результати випробувань пружини зі змінним діаметром дроту більш нелінійні (Рисунок 4). Так, при навантаженні жорсткість зростає з 1,78 кН/м до 3,0 кН/м при навантаженні 4 кН (збільшення на 68%). Під час розвантаження пружного елемента жорсткість різко знижується при незначному зниженні навантаження. Наприклад, при навантаженні 2 кН жорсткість становить 2,1 кН/м, а потім поступово зменшується, і при навантаженні 0,5 кН жорсткість становить 1,6 кН/м (зниження на 19%).

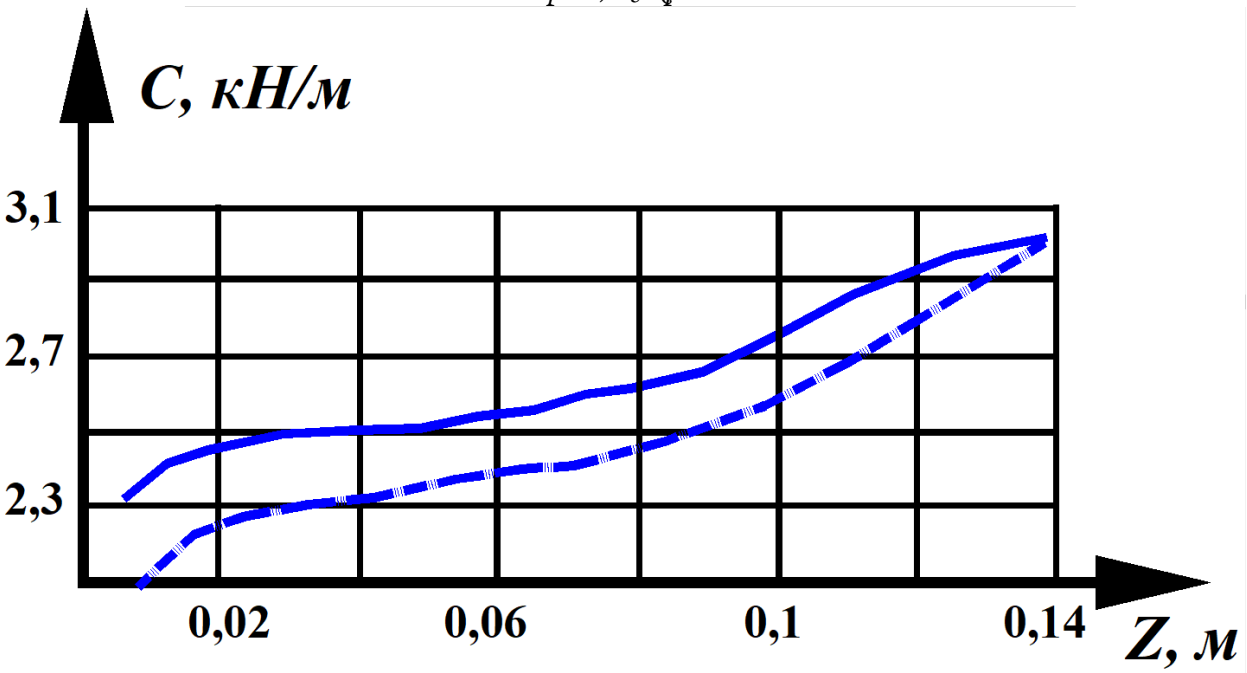


Рисунок 3 – Залежність жорсткості пружини з постійним діаметром дроту від деформації

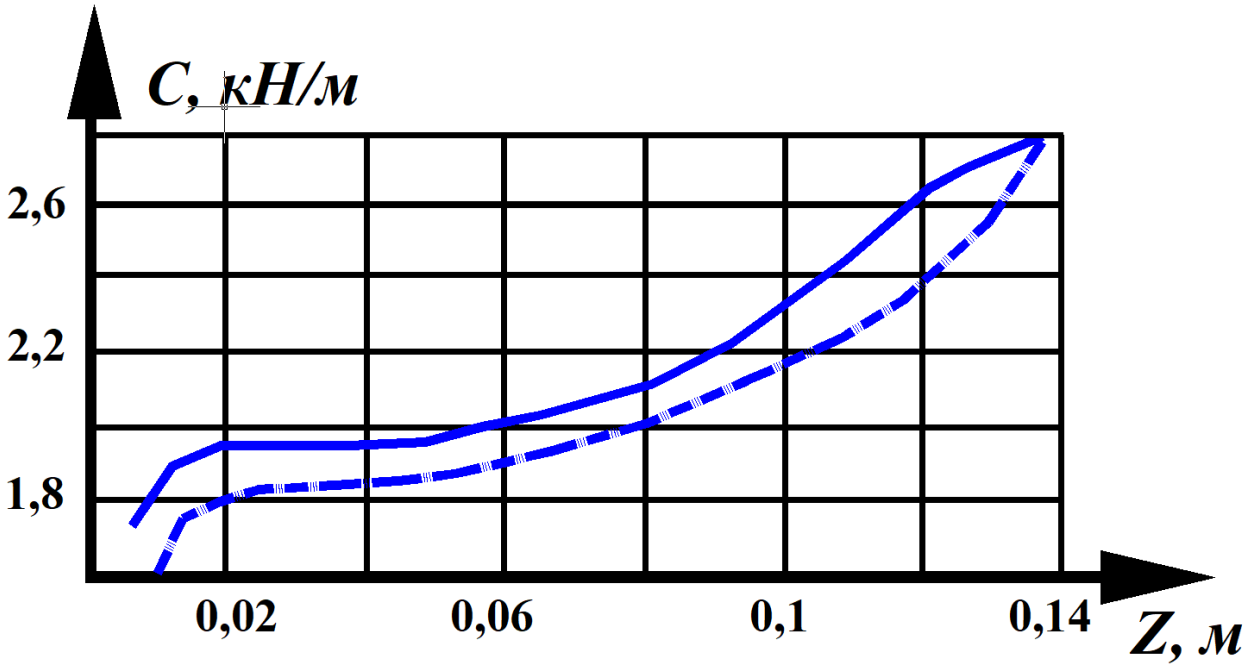


Рисунок 4 – Залежність жорсткості пружини зі змінним діаметром дроту від деформації

Висновки. При експериментальних дослідженнях отримано величини навантаження і розвантаження при відповідних зусиллях. На основі отриманих результатів отримали найменши найбільший коефіцієнти жорсткості пружини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пелех О. Р., Зінько Р. В. Застосування підвісок автомобіля з нелінійною пружиною // Сучасні технології промислового комплексу – 2024: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, 17–19 вересня 2024 року, Херсон – Хмельницький. – 2024. – С. 173–174.
2. Daewoo / Chevrolet Lanos / Sens / Chance (Дэу / Шевроле Ланос / Сенс / Шанс). Руководство по ремонту в цветных фотографиях, инструкция по эксплуатации. Модели с 1997 года выпуска, оборудованные бензиновыми двигателями. Мир автокниг. 440 с.

УДК 629.017

ПОДОЛАННЯ М'ЯКИХ ГРУНТІВ АВТОМОБІЛЕМ З АЕРОКОМПЕНСАТОРОМ

Бохонко А.В., Зінько Р.В.
Національний університет «Львівська політехніка»

Актуальною є проблема експлуатації транспортних і технологічних машин у галузях народного господарства за несприятливих погодних умов, що обмежують їх прохідність. Крім того, при багаторазовому проходженні рушіїв через одне і те ж місце відбувається надмірне ущільнення поверхневого шару. При порушенні вимог відбувається негативний вплив на поверхню грунту, яке полягає в її переущільненні. Це шкідливо для обробки сільськогосподарських угідь.

З іншого боку надмірне навантаження на опорну поверхню веде до втрати опорної прохідності на мяких грунтах.

При коченні пневматичного колеса по м'якому грунті утворення колії носить більш складний характер, тому що колесо в цьому випадку теж деформується. У результаті деформації пневматичної шини контакт колеса з грунтом відбувається по поверхні, що описується в площині колеса радіусом більшим, ніж радіус недеформованного колеса. На цій підставі запропонувано розглядати кочення пневматичного колеса по грунту як кочення жорсткого колеса, але декілька більшого діаметра (Рисунок 1) [1]. Діаметр D1 жорсткого колеса, що утворить таку ж колію h, як і пневматичне колесо діаметром D, можна визначити приблизно по формулі

$$D_1 = D(1 + \frac{i}{h}), \qquad (1)$$

Тоді коефіцієнт опору грунту кочення fПН пневматичного колеса буде дорівнювати

$$f_{ПН} = \frac{h_{ж} - i}{h_{ж}(\mu + 1)(1 - \frac{\mu}{3})}\sqrt{\frac{h_{ж}}{D}} \qquad (2)$$

де hж - глибина колії, що утворилася б при проході жорсткого колеса діаметром D; i - радіальна деформація шини.

Глибина колії, утвореної пневматичним колесом, h = hж - i. Цей метод застосовують при малій деформації колеса [1]. При низьких тисках повітря в шині деформація стає значної, при цьому збільшується розмір площадки в зоні контакту колеса не тільки по довжинні, але і по ширині (Рисунок 2). Зазначений метод не враховує впливи на опір коченню колеса таких чинників, як тангенціальна еластичність шини, тиск повітря в шині, навантаження від крутного моменту, прикладеного до колеса, швидкість руху.

Пропонується частково зменшувати вертикальне навантаження автомобіля/ Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії) [2,3]. Такий підхід дозволить підвищити прохідність транспортного засобу, забезпечивши при цьому його енергоощадливі характеристики та економічну доцільність (Рисунок 3).

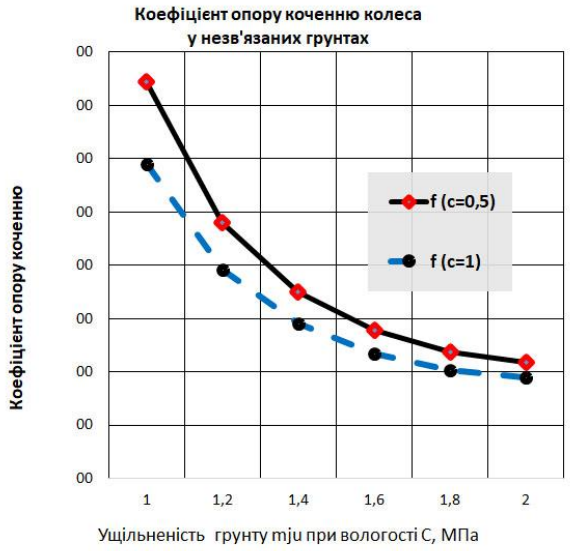


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для незв’язаних грунтів.

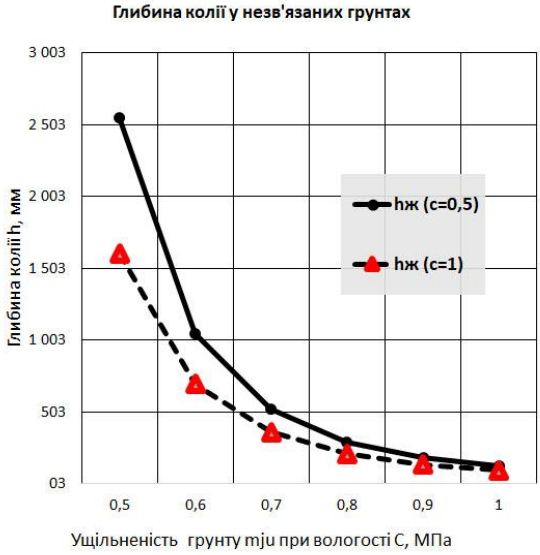


Рисунок 2 – Залежність глибини колії від величини ущільнення і його вологості для незв’язаних грунтів

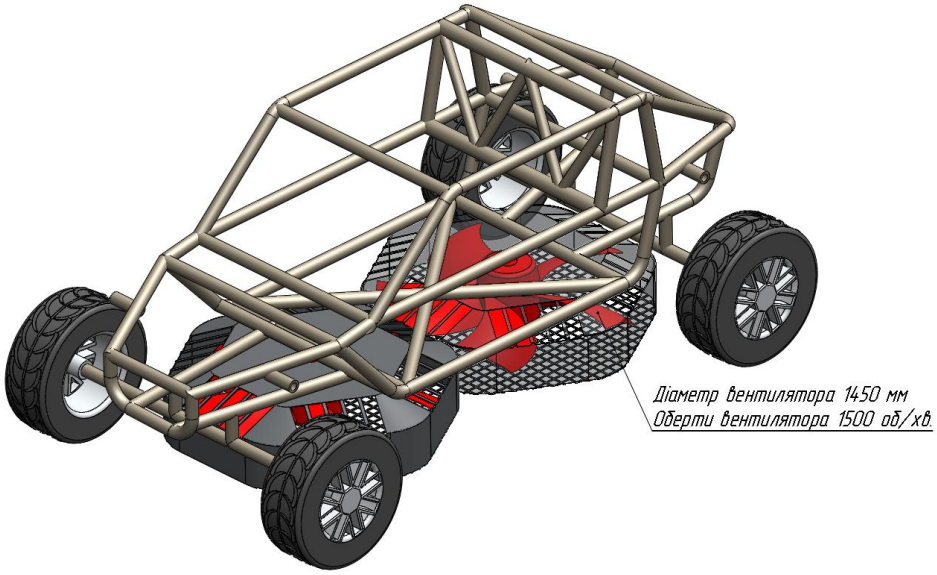


Рисунок 3 – Компонування основних елементів автомобіля з аерокомпенсатором

Висновки. Надмірне навантаження на опорну поверхню веде до втрати опорної прохідності на мяких грунтах або надмірнного ущільнення поверхневого шару на твердих грунтах.

Проаналізовано залежність коефіцієнта опору рухові, глибини колії від величини ущільнення і його вологості для незв’язаних грунтів.

Пропонується покращити прохідність автмобілів в умовах бездоріжжя, зменшивши вертикальне навантаження на опорну поверхню. Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії).

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhdanovich Cheslav, Orda Aleksandr, Kamiński Jan, Kuboń Maciej. Theoretical research of resistance motion of running systems. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2017, Vol. 62(1), Pp.182 – 186

2. Бохонко А. В., Зінько Р. В. Зменшення вертикального навантаженням автомобіля як спосіб підвищення його прохідності // Сучасні технології промислового комплексу – 2024: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, 17–19 вересня 2024 року, Херсон – Хмельницький. – 2024. – С. 163–164.

3. Бохонко А. В. Аналіз прохідності автомобіля з аерокомпенсатором // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, №1 (24), 2025. С. 303-312. С.121-130.

УДК 629.3.017

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛІВ

Сидоренко В.К., Лосіков О.М.
Український державний університет науки і технологій

На даний час автомобіль став самим масовим транспортним засобом в світі, кількість автомобілів збільшується (в першу чергу легкових) та по прогнозам ця тенденція на ближній час збережеться. Тільки в серпні 2025 року під час військової російської агресії українці придбали близько 6,8 тисячі нових легкових автомобілів. В цей же місяць за кордону було завезено більше 20 тисяч вживаних транспортних засобів [1].

Кількісний ріст автомобільного парку, збільшення швидкості і щільності руху привели до різкого зростання аварійності, боротьба з якою у всьому світі стала першочерговим завданням. За січень–липень 2025 року в Україні сталося 13738 дорожньо–транспортних пригод (ДТП) із потерпілими, в яких загинула 1663 людина та 17107 отримали травми [2]. У процесі вивчення причин аварійності та пошуків шляхів її зменшення стала очевидною необхідність комплексного вивчення всіх факторів, що впливають на безпеку автомобілів. З цією метою було введено поняття про конструктивної безпеки автомобіля, як про особливе його експлуатаційному властивості. Таке поняття дає можливість всебічно вивчити переваги і недоліки прийнятих конструктивно–технологічних рішень. Конструктивна безпека є одним з узагальнюючих властивостей автомобіля. Як і інші експлуатаційні властивості, безпека є функцією загальних параметрів автомобіля, вихідних характеристик агрегатів і їх технічного стану.

Основу конструктивної безпеки складають системи активної та пасивної безпеки автомобілів [3]. Активні системи запобігають аваріям, а пасивні – мінімізують наслідки ДТП. Завдяки стрімкому розвитку автомобільної інженерії та дослідженням постійно покращуються системи активної та пасивної безпеки транспортного засобу в яких використовується багата кількість технологій для зниження ризику аварії, зменшення смертності на дорозі та шкоди самого транспортного засобу.

Пасивні системи безпеки необхідні для максимального зниження тяжкості наслідків дорожньо–транспортної пригоді. До елементів пасивної безпеки автомобіля відносять:

– бампери передній та задній, які зроблені з м’яких матеріалів, в основному їх виробляють з пластику. Бампери, а також спеціальні зони деформації призначені для поглинання енергії удару;

– підсилення передніх та бокових стійок, які забезпечують необхідну міцність салонного середовища;

– травмобезпечна рульова колонка та педальний вузол, які складаються при ударах, таким чином, щоб не нанести серйозних пошкоджень водію;

– травмобезпечні елементи салону з м’якою, легко деформованою передньою панеллю;

– надійне кріплення сидінь;
– дитячі крісла та кріплення ISOFIX;
– травмобезпечні стекла (триплексне багатошарове скло);
– ремені безпеки та підголівники;
– подушки та шторки безпеки.

Активні системи безпеки автомобіля мають різні технології та пристрої, призначені для забезпечення безпеки водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху Активна безпека автомобіля залежить від його габаритних і вагових параметрів, тягової і гальмівної динамічності, стійкості і керованості. Велике значення для активної безпеки автомобіля має його інформативність, під якою розуміють властивість автомобіля забезпечувати необхідною інформацією водія та інших учасників руху. Водій залежно від конструкції автомобіля отримує інформацію про навколишнє оточення, характер його руху, режим роботи агрегатів і систем. Інші учасники руху завдяки інформативності автомобіля мають можливість визначити його тип, швидкість і напрямок руху і прогнозувати на найближче майбутнє розташування його на дорозі і відстань до інших транспортних засобів. Основні складові активної системи безпеки у технічному описі автомобіля позначаються абревіатурами:

- ACC – адаптивний круїз–контроль;
- ABS (Antilock Braking System) – антиблокувальна система;
- ESC (Electronic Stability Control) – система стабілізації автомобіля;
- EBD (Electronic Brake Distribution) – система розподілу гальмівних зусиль;
- ASR (Automatic Slip Regulation) – антибуксувальнасистема;
- AEB (Autonomous Emergency Braking) – система автономного екстреного гальмування;

Крім цього застосовуються допоміжні системи активної безпеки автомобіля які призначені для запобігання або зниження наслідків аварійних ситуацій на дорозі та включають:

- (BAS) – система допомоги при різкому гальмуванні;
- (TPMS) – система контролю тиску в шинах;
- (FCW) – система попередження про зіткнення;
- (PAS) – система допомоги при паркуванні.

Також можуть застосовуються інші допоміжні системи активної безпеки автомобіля які підвищують безпеку на дорозі та знижують ризик виникнення аварійної ситуації.

На даний час впроваджуються інноваційні технології в автомобільній безпеці [4]:

- Системи зв’язку між транспортними засобами (C–V2X). Технологія C–V2X дозволяє автомобілям “спілкуватися” між собою та з дорожньою інфраструктурою. Машини обмінюються даними про швидкість, напрямок руху та своє розташування. Така мережа попереджає про небезпеки, які водій ще не бачить: аварію за поворотом, ожеледицю чи раптову зупинку транспорту попереду.
- Інтеграція з розумними пристроями. Сучасні автомобілі інтегруються зі смартфонами та іншими пристроями, що підвищує безпеку. Спеціальні додатки блокують функції телефону під час руху, щоб водій не відволікався. Також смартфони можуть моніторити стан водія, виявляти ознаки втоми чи надсилати автоматичні виклики екстреним службам у разі аварії.
- Розширена реальність (AR) в автомобілях. Системи розширеної реальності проектують важливу інформацію прямо на лобове скло – у полі зору водія. Вони показують швидкість, навігаційні підказки та попередження про небезпеку. Водій бачить всю потрібну інформацію, не відводячи погляду від дороги.

Перспективними тенденціями в автомобільних технологіях безпеки є розвиток автономних транспортних засобів та використання штучного інтелекту в системах безпеки.

Автономні автомобілі – це реальність, яка поступово входить у наше життя. Вони використовують комбінацію сенсорів, камер, радарів та штучного інтелекту для повного керування без участі людини. Такі транспортні засоби не відволікаються, не втомлюються і не порушують правил. Перехід до повністю автономного транспорту буде поступовим — через етапи часткової автономності та змішаного руху. За оцінками експертів, масове впровадження автономних автомобілів може знизити кількість аварій на 90%. Сьогодні українські військові частково використовують автономний роботизований транспортний засіб в бойових діях.

Штучний інтелект (ШІ) стає ключовим елементом автомобільної безпеки. Він аналізує поведінку водія, дорожні умови та передбачає потенційні небезпеки. Системи можуть виявляти ознаки втоми чи неуважності водія за рухами очей та керма. При виявленні ризику система попереджає водія або активує режим підвищеної безпеки. Алгоритми ШІ також допомагають розпізнавати об’єкти на дорозі навіть у складних умовах, як–от дощ, сніг чи туман.

Висновки. Завдяки розвитку технологій та інновацій, сьогодні ми можемо спостерігати поступове зниження числа ДТП. Одна з ключових причин цього – впровадження нових систем безпеки в автомобілях. Інженери працюють над постійним удосконаленням існуючих технологій і створюють нові, що допомагають захистити водіїв, пасажирів та інших учасників дорожнього руху. Відмінною рисою конструктивної безпеки автомобіля є необхідність збереження всіх її показників на допустимому рівні протягом всього терміну служби автомобіля. Можна погодитися з деяким погіршенням паливної економічності або комфортабельності автомобіля в процесі його експлуатації, але цього не можна зробити щодо безпеки. Автомобіль повинен бути безпечним в будь–який час, при будь–якій погоді, в будь–яких дорожніх ситуаціях.

Майбутнє автомобільних систем безпеки є перспективним та з кожним роком ми можемо очікувати нових інновацій, які зроблять наші дороги ще безпечнішими. Технології безпеки не тільки допомагають зберегти життя і здоров'я водіїв і пасажирів, але й роблять дорожній рух більш ефективним, зручним та комфортним. Роль штучного інтелекту, роботизації та нанотехнології в цих процесах буде лише зростати, що може призвести до появи абсолютно нових, ще не уявлених нами технологій безпеки в автомобілях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вісник машинобудування та транспорту, met – journal. com.ua, 2025.
2. Джерело з hltps: /avto. informator. ua / 2025.
3. ДСТУ 3649 – 10. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги до технічного стану та методи контролю. – К. : Держстандарт України, 2010. – 19с.
4. Коростельов М. В., Гнатов А. В. Дослідження активних систем безпеки для автотранспортних засобів / Автомобільний транспорт, 2020. вип. 46. С. 40–46. DOI: 10.30977/AT.2219–8342.2020.46.0.40.

СЕКЦІЯ 6
«ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ, CAD/CAM/CAE»

УДК 621.311.243

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ MPP ТРЕКЕРА НА ОСНОВІ ПОНИЖУВАЛЬНОГО ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Андронова О.В., Курак В.В.
Херсонський національний технічний університет

На сьогодні в Україні фотоелектричні станції забезпечують близько 75% виробництва "зеленої" енергії, і, не зважаючи на умови воєнного стану, темпи нарощування потужності збільшилися від 220 МВт в 2022 р. до 800 МВт у 2024 р. Основними перевагами фотоелектричної генерації є тривалий термін експлуатації, низькі експлуатаційні витрати та екологічна чистота технологій, але присутні і недоліки, одним з яких є відносно низький рівень ефективності перетворення, який для кремнієвих фотоелектричних модулів становить близько 20 %, а для фотоелектричних систем в цілому 12-15%. Тому проблема підвищення ККД перетворення є актуальною і на зараз.
Застосування трекера точки максимальної потужності (MPP) забезпечує підтримання режиму максимальної ефективності генерації фотоелектричних модулів при змінних умовах інсоляції та температури оточуючого середовища. Ефективність відстеження MPP залежить від типу перетворювача постійної напруги, алгоритму його управління та зовнішніх умов експлуатації модуля.

В роботі шляхом моделювання в програмному середовищі Matlab/Simulink проведено дослідження ефективності роботи MPP трекера, реалізованого на основі понижувального DC-DC перетворювача, який керується за алгоритмом збурення і спостереження (P&O) [1], за умов змінної інсоляції (рис. 1).

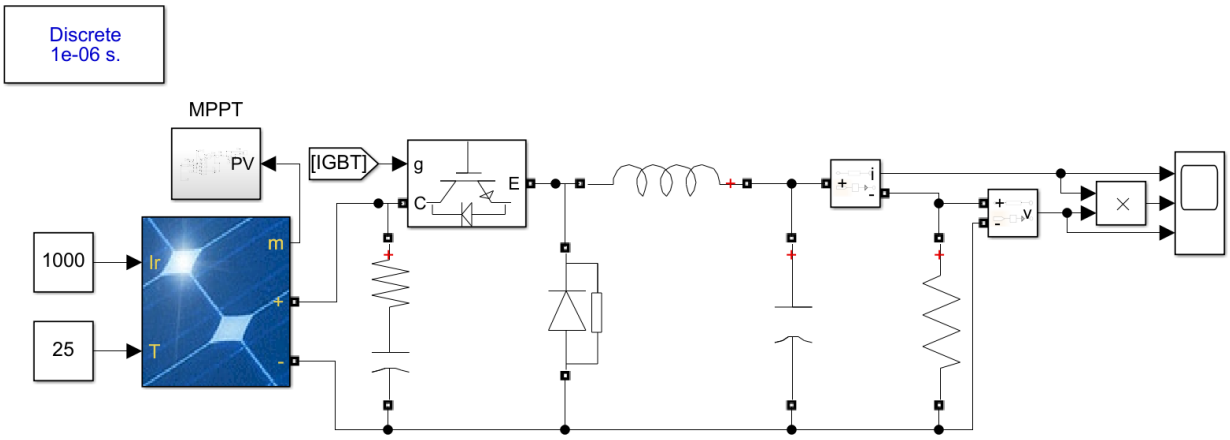


Рисунок 1 – Модель Matlab/Simulink фотоелектричного генератора з MPP трекером

Фотоелектричний генератор, представлений блоком PV Array, складається з двох паралельно з'єднаних фотоелектричних модулів 1Soltech 1SHN-350-WH, номінальною

потужністю 350 Вт кожен та напругою в точці MPP 43 В. Напруга на навантаженні, представленого блоком резистора, що приєднаний до виходу понижувального імпульсного перетворювача, визначена на рівні 29,4 В, як кінцева напруга заряду 24 В свинцевої акумуляторної батареї. Параметри компонентів імпульсного понижувального перетворювача розраховано за методикою [2]. З використанням блоків Logic and Bit Operations реалізовано алгоритм відстеження точки максимальної потужності, модель якого розміщено в сабблоці MPPT.

Проведено вибір оптимального кроку зміни напруги Δd, що задається в алгоритмі керування роботою трекера, за наступними параметрами: коливання значень потужності ΔP відносно середнього значення; швидкість виходу трекера на режим максимальної потужності Δt при зміні умов роботи фотоелектричного генератора та ефективність відстеження MPP η_P, визначена як відношення середнього значення потужності, що забезпечує трекер, до номінальної потужності фотоелектричного генератора (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив кроку зміни напруги на параметри трекера

Δd	ΔP,%	Δt, с	η_P, %
0,001	5,8	0,0245	99,23
0,005	5,8	0,0058	99,23
0,010	10,9	0,0100	98,08

Оптимальним кроком зміни напруги є 0,005 через високі значення ефективності перетворення, найменший час виходу трекера на режим та низькі пульсації потужності.
Досліджено вплив рівня інсоляції H, Вт/м^2, на ефективність роботи MPP трекера. Для цього проведено моделювання при ступінчастій зміні надходження сонячної радіації на поверхню фотоелектричного генератора від 1000 Вт/м^2 до 100 Вт/м^2 з кроком 100 Вт/м^2. Для кожного рівня опромінення визначено пульсації потужності ΔP, час виходу на режим Δt, ефективність відстеження η_P, яка характеризує застосований алгоритм керування; ефективність імпульсного понижувального перетворювача η_{DC}, що розрахована як відношення потужності на навантаженні до генерованої потужності фотоелектричного генератора, а також ефективність MPP трекера η_{MPPT}, що поєднує обидві ефективності алгоритму керування та перетворювача (рис. 2).

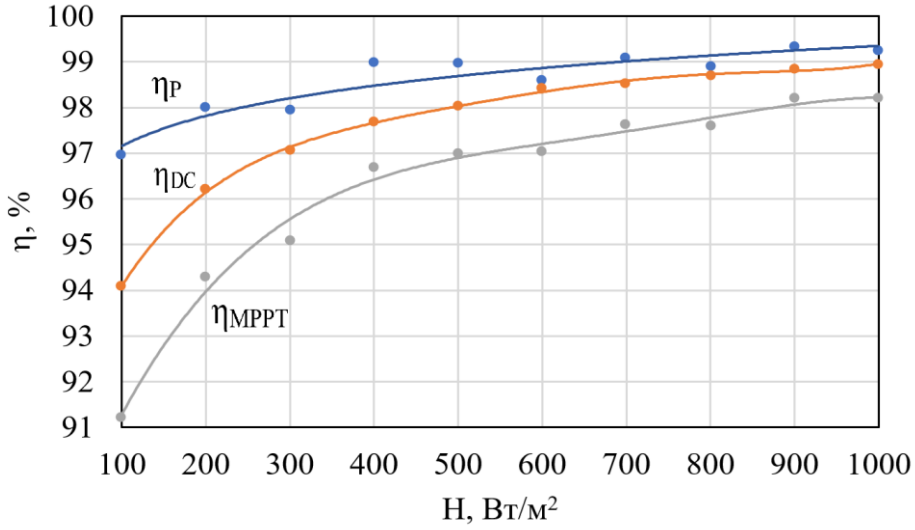


Рисунок 2 – Ефективність роботи MMP трекера

Підвищення рівня надходження сонячної радіації призводить до зменшення рівня пульсацій потужності 13,6 % до 5,8 %, тобто до покращення статичних характеристик

трекера, пов'язаних із коливанням значень генерованої потужності відносно потужності МРР. Одночасно з цим, покращуються і динамічні характеристики, тобто зменшується час виходу фотоелектричного генератора на режим МРР після зміни зовнішніх умов експлуатації. Зменшення втрат, пов'язане з цим, призводить до підвищення ефективності (рис. 2).

Середня ефективність відстеження в досліджуваному діапазоні інсоляцій становить 98,6%, значення ефективності DC-DC перетворювача на 1 % нижче, а ефективність трекера в середньому становить 96,2% і має найбільший спад при низьких рівнях сонячної радіації. Для кліматичних умов півдня України 50% часу фотоелектричний генератор працює при інсоляції, що не перевищує 300 Вт/м^2, тобто середній ККД трекера для цих умов становить лише 93,5 %. Підвищення ефективності роботи МРР трекера можна домогтися перерахунком параметрів компонентів DC-DC перетворювача на рівень радіації менший за 1000 Вт/м^2, що дозволить збільшити ефективність вироблення енергії при низьких рівнях радіації.

Висновки. В програмному середовищі Matlab/Simulink розроблено модель МРР трекера на основі імпульсного понижувального DC-DC перетворювача, керованого за допомогою алгоритму збурення і спостереження. Досліджено статичні та динамічні характеристики, а також вплив рівня інсоляції на ефективність роботи трекера. Показано, що підвищення рівня сонячної радіації з 100 Вт/м^2 до 1000 Вт/м^2 призводить до зниження пульсацій потужності, зменшення часу виходу на режим, збільшення ефективності відстеження, а, отже до збільшення загальної ефективності роботи МРР трекера. Для підвищення середньорічної ефективності роботи трекера запропоновано параметри компонентів перетворювача розраховувати на умови роботи, що відповідають рівням сонячної радіації менше 1000 Вт/м^2.

ЛІТЕРАТУРА

1. Seguel J. Comparison of the performance of MPPT methods applied in converters Buck and Buck-Boost for autonomous photovoltaic systems / J. Seguel, S. Seleme, L. Morais // Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. – 2021. – Vol. 29, No. 2. – pp. 229-244.
2. Itetshi L.M. Combined P&O MPPT and CC-CV algorithms for the design of a portable and efficient solar charging system / L.M. Itetshi, M.M. Tamasala, V.A.K. Lusala // Proc. of the International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME),16-18 November 2022, Maldives. – 2022. – 7p.

UDC 656.072

PROBLEMS OF MODELING PASSENGER CORRESPONDENCE MATRICES

Xiaoxuan Qin
Kharkiv National Automobile and Highway University

The problem of forecasting passenger transport demand is one of the core challenges in transportation planning, since reliable results directly influence the effectiveness of decision-making regarding the development of transport infrastructure and the evaluation of investment projects. The correspondence matrix of passenger trips serves as the principal form of demand representation, enabling the estimation of travel volumes between transport zones. However, in the context of Ukrainian cities, the process of developing such matrices faces a series of complex problems related to both methodological and practical aspects [1-3].

One of the key issues is the scarcity of reliable data on actual passenger movements. Traditional data collection methods are still based on labor-intensive field surveys of passenger flows, which require substantial financial and time expenditures while still failing to guarantee representativeness. This problem is particularly critical in large cities with extensive route networks and highly dynamic transport demand. The lack of modern digital tools for tracking passenger movements within cities limits the ability of Ukrainian specialists to build robust transport demand models and complicates the construction of reliable forecasting systems. In many cases, the available data on actual travel is incomplete, inconsistent, or outdated, forcing researchers to rely on indirect reconstruction techniques that may themselves introduce significant errors.

The basic methods of formation passenger correspondence matrix – gravity models, entropy-based approaches, equiprobable models, and others – exhibit limitations in terms of accuracy and adequacy in reflecting real transport processes. Gravity models capture interzonal relationships well at the macro level but lose accuracy in urban transit networks characterized by short-distance trips and high network density. Entropy-based methods are capable of generating more balanced matrices, but their outputs strongly depend on the choice of initial conditions and constraints, while the computations themselves are resource-intensive. Equiprobable models simplify the modelling process but underestimate the impact of socio-economic and behavioural factors. Ultimately, these methods provide only a conditional representation of demand fixed at the moment of a one-time survey. Moreover, they fail to account for the stochastic nature of passenger behaviour, thereby producing oversimplified representations of urban transport systems [3].

Another important problem is the scalability of modelling processes. As the number of transport zones increases, the dimensionality of the passenger correspondence matrix grows exponentially, complicating its processing and storage. This issue is particularly acute in large metropolitan areas, where the number of potential trip pairs can reach hundreds of thousands. In such cases, traditional computational approaches become inefficient, necessitating the use of parallel algorithms, cloud technologies, and specialized databases. However, under the constrained resources of Ukrainian cities and in the absence of unified software frameworks, this challenge remains unresolved.

The dynamic nature of transport demand poses yet another significant difficulty. Actual travel volumes vary depending on the time of day, day of the week, season, weather conditions, and urban events. Static passenger correspondence matrices fail to capture these variations, leading to significant discrepancies between model forecasts and observed outcomes. Consequently, there is a need to develop dynamic matrices capable of representing demand evolution in real time or under projected scenarios. The implementation of such an approach requires the integration of large-scale datasets and the application of modern machine learning techniques, which demand additional research and resources.

The problem of validating passenger correspondence matrices is no less critical. In most cases, «reference» datasets against which model outputs could be benchmarked are lacking. Existing validation approaches rely on partial passenger flow surveys or the analysis of load levels on selected network segments. However, these methods cannot guarantee reliability, as they fail to capture the system in its entirety. As a result, researchers face a dual challenge: on the one hand, the need to developed passenger correspondence matrices under severe data limitations, and on the other, the lack of robust tools for quality assessment [1-3].

One of the promising approaches that can partially address the aforementioned challenges is the interval-based concept of modelling population travel demand. Unlike traditional methods, the interval approach does not attempt to represent demand as a single fixed state but instead describes it as an interval of possible states, thereby bringing the model closer to real operating conditions of urban public transport systems. This approach enables the consideration of uncertainty and variability in transport behaviour, which are typical of large urban areas [3, 4].

The interval-based concept is particularly relevant under conditions of uncertainty and the dynamic nature of contemporary urban processes. Actual travel needs are inherently unstable: they depend on socio-economic conditions, employment levels, household structures, individual habits, the availability of transport alternatives, and even situational factors such as weather conditions or urban events. Capturing this multifactorial variability is feasible only within models that are capable of representing a wide range of possible demand states, which is precisely what the interval approach offers [4].

From a practical perspective, applying the interval concept allows for a comprehensive assessment of the efficiency and reliability of public transport systems. This is achieved by modelling not just a single development scenario but an entire set of alternatives, thereby enabling the identification of the most resilient solutions in strategic planning. Such an approach can serve as the foundation for balanced decision-making in urban mobility management, particularly in large cities where variability in passenger behaviour is most pronounced.

Nevertheless, the implementation of the interval-based concept is accompanied by a number of challenges. First, the methodology for generating sets of passenger correspondence matrices requires refinement, ensuring both mathematical rigor and realistic representation of transport processes. Second, the problem of efficiently processing large volumes of data arises, necessitating the application of advanced computational technologies. Third, validation methods for interval-based matrices must be adapted, as classical accuracy criteria are insufficient for models that describe ranges of possible demand states.

Conclusions. The main problems in modelling passenger correspondence matrices lie in the shortage of reliable data, the limited accuracy of traditional methods, the difficulties of scaling computational processes, the need to account for the dynamic nature of transport demand, and the lack of robust validation instruments. A promising direction for future research and application is the further development of the interval-based concept of travel demand modelling, which makes it possible to incorporate uncertainty, variability, and the stochastic character of passenger behaviour. This approach creates the prerequisites for improved forecasting accuracy, a comprehensive evaluation of transport system efficiency, and the formation of more reliable development scenarios. At the same time, it is essential to advance the methodology of interval modelling, refine tools for generating passenger correspondence matrices, and develop modern data processing algorithms capable of ensuring scalability and practical applicability for large-scale transport systems.

ЛІТЕРАТУРА

1. Любий Є.В., Ковцур К.Г., Цинь Сяосюань Постановка задачі випадкового заповнення матриці пасажирських кореспонденцій. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 2(23) (2024). С. 152-158. https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1537.

2. Цинь С., Любий Є.В. Теоретичне обґрунтування результатів генерації матриць пасажирських кореспонденцій випадковим методом. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2025. № 1(24), 438-446. https://doi.org/10.36910/automash.v1i24.1751.

3. Цинь С., Любий Є.В. Аналіз існуючих методів формування моделей потреб пасажирів у пересуваннях. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2025. № 11(42), Частина 2, 394-409. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.394-409

4. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. … доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.

УДК 621.9

КОМПЛЕКС КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ STATEFLOW-SIMULINK

Веселовська Н. Р.
Донецький національний університет імені Василя Стуса

Задача розробки методики дослідження технологічних процесів з використанням універсального комплексу комп'ютерного моделювання STATEFLOW-SIMULINK є актуальною. На сучасному етапі це є інноваційним інтерактивним інструментом для розробки в області моделювання надскладних систем, які керуються подіями і дозволяє суттєво підвищити ефективність управління технологічними процесами в системах. Інтегроване середовище засноване на теорії кінцевих автоматів, пропонується для проєктування систем із вбудованою логікою [1-7]. В роботі запропонована структура стратегії прийняття рішень при керуванні технологічними процесами, яка базується на застосуванні особливих можливостей комплексу, призначенням якого є створення моделей систем, що можуть змінювати свою структуру в залежності від зміни стану та параметрів систем і немає обмеження рівня складності систем [3,5-7].Це інструмент для чисельного моделювання гібридних систем, що характеризуються складною поведінкою і складаються з аналогових і дискретних компонентів. Системи характеризуються не лише безперервною зміною стану системи, але і стрибкоподібними варіаціями відповідно до логіки роботи керуючої програми, тому, коли логіка роботи керуючої підсистеми, є жорсткою, а зовнішні умови відносно стабільні, говорять про трансформаційні системи [3,5-7]. Додаткова можливість стежити в режимі реального часу за процесом виконання діаграми шляхом включення режиму анімації робить процес моделювання систем наочним, що. дозволяє: візуально моделювати інтегровані системи, проєктувати детерміновані системи, змінювати проєкт, автоматично генерувати програмний код безпосередньо за проєктом, користуватися перевагами інтеграції. Комплекс складається з таких компонентів: графічного редактора, провідника, генератора об'єктних кодів, наладчика, динамічного перевірочного пристрою та включати такі завдання: визначення методу модифікації блоків, визначення подій та додавання і визначення нелокальних подій і нелокальних даних в межах діаграми і з будь-якими зовнішніми джерелами [1-5].

Комплекс дозволяє створювати та моделювати системи зі складною поведінкою. При цьому система може знаходитися в різних станах і здійснювати різноманітні переходи з одного стану в інший при виникненні події. Використовуючи комплекс можна створювати діаграми, які надають можливість візуально представляти внутрішній стан системи. Стани та переходи є основними блоками системи, які дозволяють переходити між рівнями. При цьому існує можливість виконання декількох операцій із паралельним звертанням до моделюючого блоку, а також застосуванням рекурсивних алгоритмів управління, виконання комплексу прогнозних оцінок із уточненням стратегії роботи інтегрованих систем.

Список літератури

1. Майкл Палушек, Стефані Томас. *MATLAB Machine Learning Recipes: A Problem-Solution Approach*. APress. 2019. 347 p.

2. Веселовська Н.Р., Зелінська О.В. Моделі інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами на основі сучасних інформаційних технологій: монографія. Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. 427с.

3. Веселовська Н. Р. Практична реалізація методики управління процесом механічної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2020. № 1 (108). С. 91–102.

4. Матвійчук В.А., Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А Математичне моделювання новітніх технологічних систем: монографія. Вінниця: ВНАУ. 2021. 193 с.

5.Veselovska N., Malakov O., Burlaka S. Mathematical modeling of the mower crank

6. Веселовська Н.Р. Розробка алгоритмічного забезпечення для практичної реалізації випробувально-діагностичного комплексу верстатів з ЧПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 1 (104) . С. 71-80.

7. Veselovska N.R. Innovative methods of monitoring the mechanical processing process. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2023. №2 (109). С. 40-44.

УДК 658.5:004.94

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ CAD/CAM/CAE-ТЕХНОЛОГІЙ

Пановик У.П., Тупісь А.І., Хербетко В.І.
Національний університет «Львівська політехніка»

Сучасні виробничі системи дедалі більше орієнтуються на цифровізацію та застосування методів системного аналізу й математичного моделювання. Інструменти CAD/CAM/CAE дозволяють створювати детальні тривимірні моделі виробів, генерувати траєкторії обробки, виконувати симуляцію навантажень і прогнозувати роботу механізмів. Проте точність таких моделей значною мірою залежить від вихідних даних, якими вони наповнюються. Якщо дані носять узагальнений або наближений характер, то результати симуляції можуть відхилятися від реальних умов, що призводить до зниження надійності прогнозів та неефективності виробничих рішень.

Класичні методи калібрування й контролю стану обладнання, які виконуються періодично, не дають змоги отримувати актуальні дані у режимі реального часу. Внаслідок цього цифрові моделі залишаються «відірваними» від фактичного виробничого середовища. У багатьох випадках це спричиняє необхідність додаткових прототипувань, збільшує витрати часу й матеріалів, а також уповільнює впровадження інновацій. У відповідь на ці виклики формується концепція Metrology 4.0, що передбачає інтеграцію розумних сенсорів, автоматизованого калібрування та цифрової обробки даних у виробничих процесах [1]. Дані, зібрані з сенсорів і перевірені за стандартами метрології, можуть використовуватися безпосередньо в CAD/CAM/CAE-середовищах для побудови високоточних віртуальних моделей. Це відкриває шлях до створення цифрових двійників, які не тільки відображають геометрію виробу, але й відтворюють його реальні фізичні властивості та поведінку в умовах експлуатації. Отже, проблема полягає у забезпеченні надійного мосту між реальними даними вимірювань і віртуальними моделями, що дозволить перейти від статичних симуляцій до динамічних цифрових екосистем виробництва.

Концепція Metrology 4.0 передбачає використання сенсорних систем нового покоління, здатних проводити вимірювання у режимі реального часу та автоматично калібруватися відповідно до міжнародних стандартів [2]. Це створює передумови для тісної інтеграції з інструментами CAD/CAM/CAE, які потребують достовірних даних для моделювання та оптимізації виробничих процесів. Зокрема, CAD-системи отримують можливість не тільки будувати геометричні моделі деталей і вузлів, а й одразу наповнювати їх актуальними метрологічними даними, що підвищує точність розрахунків та проєктних рішень. У середовищі CAM інформація з сенсорів допомагає оптимізувати

режими обробки та прогнозувати зношування інструменту, зменшуючи ризик аварійних ситуацій. У свою чергу, CAE-платформи здатні використовувати дані калібрувань для моделювання фізико-механічних процесів, таких як навантаження, деформації, теплові поля чи вібрації.

Важливою перевагою є можливість побудови цифрових двійників виробничого обладнання. У цьому випадку CAD/CAE-модель постійно отримує дані від сенсорів (наприклад, температурних, тензометричних тощо) та оновлює свій стан. Така інтеграція дозволяє не лише відображати поточний стан системи, а й прогнозувати майбутні зміни, аналізувати «що-якщо» сценарії та тестувати різні режими роботи без ризику для обладнання. У поліграфічному виробництві це відкриває нові можливості для керування якістю. Наприклад, дані з датчиків в'язкості фарби та температури друкарського апарата можуть надходити у CAE-модель, яка віртуально прогнозує стабільність кольоропередачі й радить оптимальні параметри подачі фарби [3]. Таким чином, забезпечується не лише контроль, а й активна взаємодія між реальним обладнанням та цифровою моделлю. Отже, інтеграція Metrology 4.0 з CAD/CAM/CAE перетворює їх на єдину екосистему, де вимірювання, проєктування, симуляція й керування зливаються в безперервний цифровий цикл. Побудова цифрового двійника передбачає створення інтегрованої моделі, яка поєднує фізичний об'єкт, сенсорну систему вимірювань та програмні середовища CAD/CAM/CAE. Кожен параметр реального обладнання має віртуальний аналог, що постійно оновлюється актуальними даними.

Методологія побудови цифрового двійника реалізується поетапно. На першому етапі формується фізична модель у CAD-середовищі (наприклад, *SolidWorks, Autodesk Inventor*), де визначаються геометричні параметри обладнання, матеріали деталей і допуски. Для друкарської машини це, зокрема, діаметри валів (40–120 мм), товщина друкарського полотна (0,08–0,2 мм), контактний тиск (0,3–0,5 МПа). На другому етапі до об'єкта інтегрується сенсорна мережа, що відповідає принципам Metrology 4.0. Для збору даних використовуються: датчики температури (Pt100, діапазон 0–150 °C, точність ±0,1 °C), датчики тиску (WIKA S-10, 0–10 бар, точність ±0,25 %), вібродатчики (MEMS-акселерометри, частотний діапазон 1–5000 Гц), датчики зношування (індуктивні сенсори з точністю до 1 мкм), датчики в'язкості фарби (Brookfield, діапазон 10–10^6 сП, похибка ±1 %) та кольориметричні сенсори (X-Rite eXact, вимірювання в просторі CIE Lab з похибкою $\Delta E \leq 0{,}2$). На третьому етапі дані сенсорів передаються у систему збору через протоколи IoT (*MQTT, OPC UA, Modbus TCP/IP*). Первинна обробка даних здійснюється у проміжному вузлі (*edge-сервер на базі Raspberry Pi або Siemens IPC*), де виконується калібрування вимірювань згідно зі стандартом ISO/IEC 17025 [4]. Дані зберігаються у базі (*PostgreSQL, InfluxDB*) та передаються в аналітичні модулі.

Далі інформація інтегрується у CAM/CAE-середовища (*Siemens NX, ANSYS, COMSOL*), де проводяться симуляційні розрахунки:

- аналіз теплових потоків у зоні друку (стабілізація температури до ±1 °C),
- розрахунок напружень у валах (границя 80 МПа),
- оптимізація подачі фарби (в'язкість підтримується в межах ±3 % від норми).

Алгоритм взаємодії побудований як замкнений цикл управління: фізичний об'єкт → сенсори → IoT-протоколи → база даних → цифровий двійник (CAD/CAM/CAE) → оптимізовані рішення → зворотній сигнал у виробничу систему.

Важливим доповненням є застосування Big Data та алгоритмів штучного інтелекту (ML-моделі на базі *TensorFlow, PyTorch*), що дозволяють будувати прогностичні моделі відмов і закономірностей з історичних даних. Наприклад, нейронна мережа LSTM прогнозує деградацію точності друкарських валів із точністю до 95 % на горизонті 500 годин роботи. У поліграфічних комплексах такий підхід забезпечує побудову цифрових двійників друкарських машин, що враховують умови експлуатації в реальному часі, прогнозують відхилення кольоропередачі ($\Delta E > 2$) та автоматично формують стратегії технічного обслуговування, знижуючи кількість аварійних зупинок на 25–30 %.

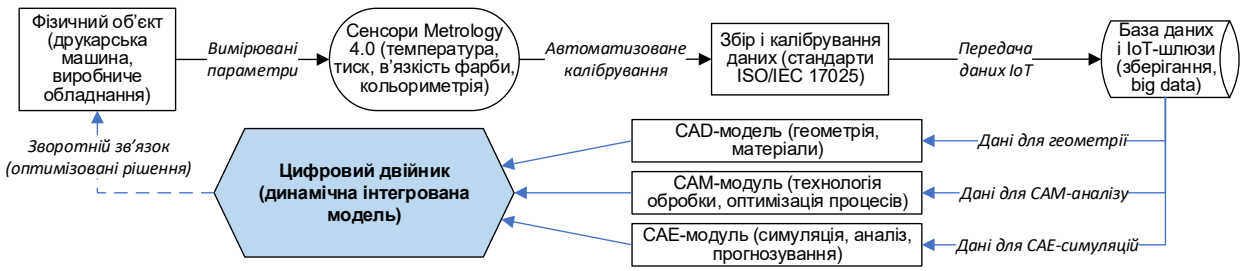


Рисунок 5 – Інтеграція Metrology 4.0 у CAD/CAM/CAE для побудови цифрового двійника

Інтеграція Metrology 4.0 у середовища CAD/CAM/CAE створює передумови для якісного стрибка у розвитку виробничих систем. Одним із ключових результатів є підвищення точності віртуальних експериментів. Оскільки цифрові моделі постійно оновлюються актуальними даними з сенсорів, вони відображають не абстрактний, а реальний стан обладнання та процесів. Це дозволяє суттєво знизити похибки при моделюванні й прогнозуванні. Другим важливим результатом стає зменшення витрат на прототипування та випробування. Завдяки цифровим двійникам можна тестувати різні сценарії експлуатації обладнання у віртуальному середовищі, не витрачаючи ресурси на створення фізичних макетів або пробних тиражів у поліграфії. Це скорочує час виведення продукції на ринок і зменшує фінансові ризики.

Особливу цінність має можливість прогнозування надійності та залишкового ресурсу обладнання. Аналіз трендів зміни параметрів (температури, вібрації, в'язкості фарби тощо) у CAE-моделях дає змогу визначати ймовірність відмов ще до їх виникнення. Це відкриває шлях до переходу від планового до прогнозованого технічного обслуговування. Ще однією перевагою є створення повноцінних цифрових виробничих екосистем, у яких дані, отримані під час вимірювань, стають основою для наскрізного управління: від проєктування та моделювання до виробництва й контролю якості. Для поліграфії це означає можливість оперативно коригувати параметри друкарських процесів на основі точних симуляцій і забезпечувати сталість кольоропередачі без додаткових витрат. У результаті впровадження такої інтеграції підприємства отримують підвищену конкурентоспроможність, скорочення часу виробничого циклу та кращу адаптивність до вимог ринку.

Висновки. Інтеграція технологій Metrology 4.0 з системами CAD/CAM/CAE відкриває новий рівень точності та надійності у системному аналізі й математичному моделюванні виробничих процесів. Завдяки автоматизованому калібруванню сенсорів і використанню даних у режимі реального часу цифрові моделі отримують безпосередній зв'язок із фізичними об'єктами, перетворюючись на повноцінні цифрові двійники. Такі двійники дозволяють не лише відтворювати геометрію й фізичні параметри обладнання, а й прогнозувати його поведінку в різних виробничих сценаріях. Це забезпечує підвищення точності симуляцій, зниження витрат на прототипування, скорочення часу виходу продукції на ринок та перехід до прогнозованого технічного обслуговування.

Для поліграфічної галузі подібна інтеграція означає можливість створення адаптивних цифрових виробничих комплексів, де кожна друкарська машина має свій цифровий двійник, що відображає її поточний стан та допомагає забезпечити стабільність кольоропередачі й високу якість продукції. Отже, взаємодія Metrology 4.0 і CAD/CAM/CAE стає фундаментом побудови цифрових виробничих екосистем, що відповідають викликам Індустрії 4.0 та відкривають перспективи для подальшої цифрової трансформації промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cunha K., Santos R. The Reliability of Data from Metrology 4.0. *International Journal on Data Science and Technology*. 2020. Vol. 6, no. 4. P. 66. URL: https://doi.org/10.11648/j.ijdst.20200604.11.
2. Пановик У. П., Гідей Р.В., Богоніс О.О. Інтегровані метрологічні системи в індустрії 4.0. *Наукові записки*, № 1(68), 2024, С. 71–82. URL: https://doi.org/10.32403/1998-6912-2024-1-68-71-82.
3. Пановик У. П., Кутас С.А. Інтернет речей для інтелектуального поліграфічного виробництва. *Поліграфія і видавнича справа*, № 1(87),2024, С. 61–74. URL: https://doi.org/10.32403/0554-4866-2024-1-87-61-74
4. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. [Чинний від 01.07.2019]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 42 с.

УДК 621.321:681.5

ЦИФРОВЕ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ: ЛЮДИНОЦЕНТРИЧНИЙ ПІДХІД

Островська Г. Й., Островський О.Т.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Індустріальний розвиток перебуває під впливом п’ятої промислової революції (Industry 5.0) [1], яка актуалізувала дискусії щодо передумов і доцільності впровадження нової парадигми. Концепція Індустрії 4.0 ґрунтувалася на ідеї «розумної фабрики», де інтегровані між собою інтелектуальні продукти, машини, системи зберігання та дані формують єдине середовище кіберфізичних виробничих систем [2–3]. У цьому контексті Індустрія 5.0 постає як подальший етап еволюції, що розширює попередню модель – Індустрію 4.0, доповнюючи її соціальним та екологічним вимірами. Основний акцент робиться, з одного боку, на формуванні компетентностей працівників у взаємодії з машинами та роботизованими системами [4], а з іншого – на підвищенні гнучкості виробничих процесів і мінімізації негативного впливу на довкілля. Використання інноваційних підходів до оптимізації процесів зумовило переосмислення ролі людини у виконанні виробничих завдань у різних секторах економіки, що, у свою чергу, спричинило занепокоєння персоналу. Отже, Індустрія 5.0 спрямована на формування людиноцентричних і сталих моделей розвитку, орієнтованих на довгострокову перспективу.

Інтелектуальна та кадрова сфера функціонування підприємства також є важливою в контексті структурної трансформаційної моделі. Це пов’язано з тим, що успіх будь-якого суб’єкта господарювання залежить від потенціалу людського капіталу в контексті створення доданої вартості виробленого продукту. Ступінь використання цифрових технологій в системі управління людськими ресурсами визначає трансформацію від традиційної до технологічної організації, що веде до підвищення конкурентоспроможності підприємства. Актуальним завданням для підприємств є формування глибоких мережевих взаємодій між різними структурними підрозділами на основі процесу платформизації. Інформаційні потоки стають все більш складними за своєю природою, оскільки кожен оцифрований працівник набуває цифрової цінності.

В таких умовах, поруч із вже звичними механізмами ведення діяльності та управління нею, виникає необхідність використовувати нові засади організації діяльності. Очевидно, що класичний підхід до управління втрачає актуальність і поступається принципам цифрового управління на засадах людиноцентричного підходу.

Застосування терміну «цифрове управління» в сучасній науковій літературі все ще є фрагментарним. Іноді цифрове управління використовується як загальний термін для позначення інформаційних або, точніше, комп'ютерних технологій управління, що використовує великі масиви інформації для оперативного та якісного прийняття управлінських рішень.

Цифрове управління базується на принципах технологічного розвитку, науково-технічних методах організації бізнес-процесів і так званих проривних технологіях, які формуються на основі суспільства знань і смарт-суспільства [5]. Значення цифрового інформаційного управління полягає в його спрямованості на цифровізацію, яка визначається зусиллями, компетенціями, кваліфікацією та можливостями фахівців вирішувати складні проблеми комп'ютеризації [5].

Отже, цифрове управління розуміємо як управлінський процес, який використовує інформаційні технології для збору та обробки великих обсягів даних з метою прийняття оптимальних управлінських рішень.

У сучасному світі комп'ютерні технології збору та обробки даних не тільки забезпечують доступність та достовірність інформації, але й частково замінюють людину в процесі прийняття управлінських рішень та їх реалізації [6]. А в майбутньому комп'ютери зможуть замінити менеджерів у повсякденному управлінні багатьма видами діяльності. Слід розуміти, що в концепції цифрового управління основна увага приділяється управлінню. Насамперед необхідно вдосконалити систему управління, підвищити якість управлінського потенціалу, а вже наступним етапом впроваджувати цифрові методи управління. За інших умов це може призвести до довгострокової управлінської відсталості (неправильний тип організаційної структури, недосконалі системи мотивації).

Опишемо підхід до цифрового управління (табл. 1).

Таблиця 1

Сучасний підхід до цифрового управління

Критерій	Цифрове управління
Об'єкт управління	Поєднання людської та робототехнічної праці
Ключові ресурси	Цифрові ресурси
Роль менеджерів	Рольовий профіль комунікаторів та координаторів
Комунікації	Цифрова співпраця
Інфраструктура управління	Цифрові офіси, цифрові платформи
Організаційна культура	Цифрова культура, віртуальне спілкування
Основа	Цифрові технології
Використання технологій «Індустрії 4.0»	Широке використання
Компетенції	Цифрові компетенції (hard skills, soft skills)
Особа, яка приймає рішення	Людина, генерує рішення за допомогою штучного інтелекту
Стратегічна ціль	Інтегровані цілі організації, суспільства, особистості

Складність впровадження концепції цифрового управління значною мірою пов'язана з тим, наскільки добре автоматизуються детерміновані процеси (технічні процеси, процеси матеріального виробництва, бажано без втручання людини), але як тільки в процесі потрібне втручання людини, процес перестає бути детермінованим і непридатним для автоматизації сучасними засобами. Традиційні підходи (ERR, CRM, BPM тощо) не забезпечують належної автоматизації процесів управління підприємством і дозволяють впроваджувати лише фрагментарні рішення. BigData також не вирішує багатьох управлінських завдань і часто створює ілюзію поінформованості [7].

Визначимо, як забезпечити необхідну цифровізацію управління. На нашу думку, основою оцифрування є обчислюваність управлінської діяльності. Управління має бути прорахованим. Це стосується всієї управлінської діяльності, але головним чином процесів прийняття рішень.

Обчислюваність по відношенню до бізнесу та менеджменту означає таке: знання і використання набору необхідних і достатніх параметрів, які однозначно визначають стан об'єкта; формувальне оцінювання індивідуальної та командної діяльності; розрахунок управлінських впливів, включаючи розрахунок контрольних документів. Обчислюваність не створюється сама по собі. Для вдосконалення систем управління необхідна велика теоретична, методологічна та організаційна підготовча робота. Все це вимагає від менеджерів нових компетенцій, зокрема:

– моделювання корпоративних систем, використання моделей для прийняття рішень, отримання інформації про об'єкт (підприємство, підрозділ, окремі особи як функціональні одиниці, ринок);

– визначення цільового стану підприємства в параметричній формі;

– визначення ситуації та траєкторії розвитку підприємства;

– розрахунок стратегій та планів дій (розрахунки діяльності);

– розрахунок управлінського впливу (включаючи документацію та рекламні матеріали);

– оцінка ефективності діяльності за окремими видами діяльності; оцінка ефективності команди за сумарною активністю учасників;

– оцінка коефіцієнта функціональної (системної) стійкості компанії.

Це, безперечно, не вичерпний перелік компетенцій менеджерів у епоху цифрової економіки. Однак навіть цей перелік свідчить про те, що процес підготовки управлінських кадрів потребує суттєвої реструктуризації. У цьому контексті наукові та освітні організації відіграють важливу роль. По-перше, понятійно-категоріальний апарат менеджменту потребує переосмислення, перегляду та доповнення. Тому необхідна нова термінологія в контексті вирішення управлінських завдань. З огляду на комп'ютеризовану автоматизацію, теоретичний матеріал має бути нормативним, а не описовим і не допускає двозначності. По-друге, необхідно продовжити роботу над формуванням та уточненням параметричних моделей, які адекватно відображають функціональні процеси підприємств в умовах активного зовнішнього середовища, зокрема притік ресурсів, в тому числі грошових коштів.

Однією з проблем сучасних теорій, що використовуються для підготовки менеджерів, є те, що вони ігнорують активність як економічну категорію. Крім того, не беруться до уваги багато параметрів, які визначають стан соціальної системи (підприємства) і середовища, в якому воно функціонує. Моделі, які використовують економісти, не враховують доступність інформації (наприклад, реклами) і часто ґрунтуються на припущеннях, які є зручними для доведення теорем. Отже, рішення не можуть бути прораховані.

Параметричні моделі соціальних систем, що функціонують в активному середовищі, передбачають фіксацію фазових змінних (параметрів) системи та середовища, що дозволяє чітко визначати стан і, відповідно, відстежувати динаміку системи. Водночас комп'ютерні технології та електронні пристрої, які існують в умовах сьогодення, мають високі можливості в контексті забезпечення збору та обробки даних для оцінки змін системи в реальному часі. Внаслідок цього з'явилася можливість створювати програмне забезпечення, яке дає змогу менеджерам розраховувати управлінські наслідки, динаміку системи та інформацію для планування і, таким чином, вирішувати низку бізнес-завдань [8].

Висновки. Цифрові технології здатні змінювати рівень конкурентоспроможності підприємств, продуктивності праці, ефективності управління бізнес-процесами. Однак, як і будь-який інструмент, вони не гарантують високих результатів без правильної стратегії

інноваційного розвитку та виважених управлінських рішень. У цьому контексті класичний підхід до управління втрачає актуальність і поступається місцем принципам цифрового управління. За цих умов підприємства, які впровадили цифрове управління, є більш динамічними. Крім того, такі підприємства добре підготовлені до змін і самонавчання. Цифрове управління змінює бізнес-процеси, підприємства та роль менеджерів. У цьому контексті від менеджерів вимагається вміння працювати з цифровими технологіями, аналізувати великі обсяги даних, впроваджувати інновації та розробляти стратегії в умовах динамічного середовища. За використання цифрового менеджменту є можливим комплексне відстеження бізнесу та підвищення ефективності управлінських рішень; впізнаваність бренду, оскільки розширюється географія присутності підприємства; покращення взаємодії з клієнтами; зростання економічної ефективності в порівнянні з традиційною формою управління; відображення ключових індикаторів ефективності та, як наслідок, забезпечення додаткових конкурентних переваг підприємства.

Людський капітал є ключовим елементом для успішного цифрового управління, оскільки знання, навички, досвід і розумові здібності працівників впливають на цифровий розвиток підприємства або цілої країни. Стратегія розвитку Індустрії 5.0 посилить людиноцентричний підхід у всіх сферах життя, оскільки не всі процеси можна роботизувати, і саме люди відіграватимуть ключову роль у переході від цифрової до віртуальної економіки. Узагальнюючи, можна констатувати, що Індустрія 5.0 виступає наступним етапом еволюції концепції Індустрії 4.0, доповнюючи її акцентом на соціальну відповідальність та принципи сталого розвитку. Водночас слід підкреслити, що парадигма Індустрії 5.0 безпосередньо трансформуватиме існуючі бізнес-моделі компаній, тоді як специфіка цифрової трансформації набуватиме визначальної ролі передусім для високотехнологічних підприємств.

Література

1. Zhang C., Chen Y., Chen H., Chong D. Industry 4.0 and its Implementation: a Review. *Information Systems Frontiers.* 2021. Doi: 10.1007/s10796-021-10153-5. URL: https://www.researchgate.net/publication/352195654_Industry_40_and_its_Implementation_a_Review

2. Ostrovskyy O. The advanced digital production technologies implementation features. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference «Science and innovation of modern world» (January 25-27, 2023). Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2023. Pp. 130–135. URL: https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-innovation-of-modern-world-25-27-01-2023-london-velikobritaniyaarhiv/

3. Ostrovskyy O. Integrated information systems as reconception of data management. Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference «Innovative research and perspectives of the development of science and technology» January 29-31, 2024, Stockholm, Sweden. 2024. Pp. 344–346. URL: https://eu-conf.com/events/innovative-research-and-perspectives-of-the-development-of-science-and-technology/

4. Островський О.Т. Робототехніка та автоматичне керування. Сучасні технології промислового комплексу – 2024: матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. (17-19 вересня 2024 р., м. Херсон, м. Хмельницький). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2024. С. 76-79.

5. Ostrovskyy O. Formation of digital skills in the knowledge-based economy. Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference «Science, trends and modern methods of solving problems», February 20 – 22, 2023. Lisbon, Portugal. Pp. 250–253. URL: https://eu-conf.com/ua/events/science-trends-and-modern-methods-of-solving-problems/

6. Островська Г.Й., Островський О.Т. Застосування інтелектуальних інформаційних систем в контексті управління промисловими підприємствами. *Маркетинг і цифрові технології*. 2023. Том 7. № 1. С. 69–81. DOI: 10.15276/mdt.7.1.2023.5.

7. Островська Г.Й., Островський О.Т. Штучний інтелект в умовах сучасних підприємств та маркетингових кампаній: ефективні інструменти та перспективи розвитку. Маркетинг і цифрові технології. 2023. Том 7, № 3. С. 66-82. DOI: 10.15276/mdt.7.3.2023.5
Ostrovskyy O. Modern digital technologies as a means the industrial enterprises efficiency increasing // Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference «Eurasian scientific discussions» (January 22-24, 2023). Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. Pp. 158–164. URL: https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-eurasianscientific-discussions-22-24-01-2023-barselona-ispaniya-arhiv/

УДК 681.518

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ РОЗПОДІЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Манько Т.А., Ткачов С.П.
Дніпровський національний університету імені Олеся Гончара, Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», Дніпро

Автоматизовані системи управління, зокрема ERP-рішення та корпоративні інформаційні платформи, набувають дедалі більшого поширення як в Україні, так і у світі. Повнофункціональні ERP-системи виступають ключовим інструментом для вирішення комплексних завдань управління та стратегічного планування, значно виходячи за межі простого автоматизування рутинних операцій підприємства, таких як облік матеріальних витрат чи контроль заповненості складів. Впровадження таких систем свідчить про перехід до якісно нових стадій розвитку підприємства, забезпечуючи можливість оптимальної реалізації його потенціалу. У представленому дослідженні автори вивчають принципи побудови ефективних моделей модернізації автоматизованих систем управління (АСУ) на підприємствах ракетобудівного сектору, пропонуючи застосування модульного підходу до їх проектування. Основою даної концепції є принцип відносної автономності кожного окремого модуля, що дозволяє їм функціонувати незалежно. Водночас модулі підтримують синхронізовану взаємодію між собою, передаючи дані до загальної інформаційної системи, де вони проходять процес аналізу, обробки та спрямовуються у відповідні підрозділи для практичного використання. На основі проведеного дослідження для ракетобудівного підприємства рекомендовано багаторівневу модульну архітектуру із чітко визначеними взаємодійними інтерфейсами. Такий підхід забезпечує гнучкість системи, її масштабованість та продуктивність у потоках обробки даних. Автори розробили методологію конструювання АСУ, яка ґрунтується на принципі багаторазового використання інформації. Важливість цього принципу полягає в оптимізації ресурсів, необхідних для збору даних, а також у мінімізації ризику виникнення помилок через розбіжності у використанні різних джерел для одного й того самого параметра. Окрім того, модернізація системи документообігу передбачає підвищення рівня автоматизації операцій у відділах кадрів та праці, включаючи розрахунки заробітної плати.

Впровадження ERP-систем на підприємствах свідчить про перехід до більш високого рівня розвитку, оскільки ці системи дозволяють максимально ефективно використати потенціал підприємства[1,2]. У цьому контексті питання інтеграції інтелектуальних технологій у різноманітні процеси діяльності підприємств, які займаються ракетобудуванням, набуває особливої актуальності для досліджень.

Одним із способів підвищення продуктивності є впровадження математичного забезпечення. Математичне забезпечення автоматизованих систем організаційного

управління (АСОІУ) являє собою комплекс математичних методів, моделей, алгоритмів і засобів, призначених для формалізованого опису, аналізу, оптимізації та підтримки процесів прийняття рішень. Його мета полягає у вдосконаленні управління об'єктами або системами через ефективну обробку даних і забезпечення оптимальних рішень в умовах складних організаційних задач.

Процес проектування автоматизованих систем обробки інформації та управління (АСОІУ) на основі модульного принципу передбачає розробку програмного й інформаційного забезпечення, побудованого з набору відносно незалежних компонентів або модулів. Ці модулі здійснюють обробку даних і взаємодіють між собою через визначені інформаційні зв’язки. Важливою особливістю такого підходу є те, що кожен окремий модуль функціонує без доступу до внутрішнього змісту інших модулів, окрім тієї інформації, яка чітко зазначена у специфікаціях інтерфейсу.

Модульний принцип проектування сприяє оптимізації процесу створення АСОІУ шляхом розподілу системи на функціонально незалежні компоненти. Ці модулі взаємодіють між собою, забезпечуючи виконання заданих функцій системи з необхідним рівнем ефективності. При цьому внутрішня структура кожного модуля може залишатися невідомою для інших частин системи, що забезпечує зручність у розробці, інтеграції та обслуговуванні окремих компонентів.

Під час розробки глобальних автоматизованих систем управління виникає необхідність оптимально сформувати структуру системи, визначити логічний розподіл функцій між її компонентами або рівнями. Завдання, які виконують технічні засоби системи, залежать від відповідних математичних моделей, методів їх розв'язання та здатності реалізувати ці методи за допомогою доступного технічного комплексу. Сам комплекс технічних засобів формується виходячи з конкретного спектра завдань, враховуючи ресурсні обмеження під час його створення, а також забезпечуючи ефективне виконання поставлених задач[3].

У рамках цього тексту введемо термін «завдання», що відноситься до сукупності взаємозалежних операцій, які охоплюють обробку даних та ухвалення рішень у проєктованій автоматизованій системі управління (АСУ). Вибір таких завдань може здійснюватися різними підходами, зокрема методом експертного оцінювання. Крім того, експертний метод може застосовуватися для визначення ефективності виконання певних завдань $a_i k_j$, а також для отримання інших ключових даних, необхідних для побудови моделі.

Завдання може бути записано в наступному вигляді:

$$\left[\sum_{\{i,k,j,i',j',k'\}} b_{ikji'j'k'} * x_{ikj} * x_{i'j'k'} - \sum_{\{l,j\}} c_{lj} * x_{lj}\right] \rightarrow \max_{\{x_{ikj}, x_{lj}\}} \quad (1)$$

де

$$b_{ijki'j'k'} = \begin{cases} a_{ikj'}, \text{если } ikj = i'k'j'; \\ -a_{i*i'} * y_{jj'}, \text{якщо } ikj \neq i'k'j' \end{cases} \quad (2)$$

Величина $b_{ikji'k'j'}$ визначає ефективність розв'язання задачі i, розміщеної у вузлі з номером j, якщо вона вирішується k-м способом, тобто a_{ikj} якщо $ikj = i'k'j'$ і дорівнює витратам на передачу інформації з вузла з номером j у вузол з номером j' в іншому випадку.

Таким чином, основною метою є досягнення максимального ефекту від впроваджуваної структури АСУ, що оцінюється через результативність виконання управлінських функцій у ключових елементах системи.

Висновки. З метою створення ефективних моделей модернізації автоматизованих систем управління (АСУ) на підприємствах ракетобудування пропонується впровадження модульної концепції побудови таких систем. Ця концепція ґрунтується на принципі відносної автономності кожного модуля, що забезпечує їх здатність до самостійного

функціонування. Водночас модулі можуть активно взаємодіяти між собою, обмінюючись необхідною інформацією, яка надходить до загальної інформаційної системи. Там вона проходить процес аналізу, оброблення і направляється до відповідних підрозділів для подальшого практичного застосування..

ЛІТЕРАТУРА

1. Орлова, Н.С. та Мохова, Ю., 2017. Впровадження інформаційних технологій в систему корпоративного керування. Open Educational E-environment of modern university, 3, с. 355-365.
2. Gusev A.O., Shcheritsa O.V., Mazhorova O.S. Two equivalent finite volume schemes for Stefan problem on boundary fitted-grids front tracking and front fixing techniques. Differential quations. 2021. Vol. 57. No. 7. P. 876–890. doi:https://doi.org/10.1134/S0012266121070053
3. Rossalina Albasatin, Sunarsih -, Susilo (2025). Stability analysis of the two-dimensional advection-diffusion equation for particle distribution by the Crank Nicolson-alternating direction implicit method. *Commun. Math. Biol. Neurosci*., *2025*(41). doi: https://scik.org/index.php/cmbn/article/view/9120

УДК 004.891:681.5:658.5

СИНТЕТИЧНІ ДАНІ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДГОТОВЦІ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІНДУСТРІЇ 4.0

Сімінченко І.П., Поніч Д.П.
Херсонський національний технічний університет

Вступ. Індустрія 4.0 означає новий етап розвитку виробничих систем, який характеризується високим рівнем автоматизації, цифровізації та інтеграцією кіберфізичних систем. Однією з ключових технологій, що забезпечує інтелектуалізацію виробничих процесів, є штучний інтелект (ШІ). Однак якість і кількість даних для навчання моделей ШІ залишаються критичним фактором [1].

Збір реальних виробничих даних часто пов'язаний із високими витратами, проблемами конфіденційності та обмеженою репрезентативністю. У цьому контексті синтетичні дані стають перспективним інструментом, що дозволяє створювати великі, збалансовані й анонімізовані вибірки для навчання моделей машинного навчання та глибинного навчання [2].

Метою цієї статті є дослідження можливостей застосування синтетичних даних для навчання моделей ШІ в умовах Індустрії 4.0, а також аналіз методів їх генерації та практичних переваг.

Проблема, яку необхідно вирішити, полягає у створенні методики генерації синтетичних даних, що:

- імітують реальні виробничі процеси;
- зберігають статистичні характеристики реальних даних;
- придатні для навчання моделей прогнозування та класифікації дефектів.

Для цього пропонується використати методи варіаційних автоенкодерів (VAE), генеративно-змагальних мереж (GAN) та гібридних статистично-нейронних підходів [3].

Генерація синтетичних даних для Індустрії 4.0 з використанням VAE

Для створення синтетичних даних, що імітують виробничі процеси, можна використати варіаційний автокодувальник (VAE). VAE - це генеративна модель, яка навчається стискати вхідні дані в латеральний (латентний) простір, а потім відтворювати

їх, створюючи нові, подібні дані. Цей підхід ефективний для роботи з великими і складними датасетами, типовими для виробництва.

Методика та приклад.

Приклад. Генерація синтетичних даних. Для генерації синтетичних даних, що імітують показники сенсорів виробничого обладнання, було розроблено програму на Python, яка використовує бібліотеку TensorFlow та її високорівневий API Keras. У цій програмі ми реалізували варіаційний автокодувальник (VAE). Ця модель успішно навчилася розпізнавати статистичні закономірності у реальних даних і на їх основі генерувати нові, повністю синтетичні зразки, зберігаючи при цьому ключові характеристики оригінального набору даних.

Результати моделювання демонструють високу ефективність варіаційного автокодувальника (VAE) у генерації синтетичних даних, що є критично важливим для Індустрії 4.0. Проаналізувавши статистичні характеристики згенерованих даних, ми виявили, що вони точно імітують розподіл реальних вимірів. Зокрема, такі параметри, як середнє значення та стандартне відхилення, є практично ідентичними для обох наборів даних.

Ця відповідність доводить, що VAE успішно "вивчив" приховані патерни та кореляції, присутні в реальних виробничих процесах. Завдяки цьому згенеровані дані можуть використовуватися не лише для збільшення обсягу навчальної вибірки, але й для покращення балансу класів (наприклад, між нормальними станами та рідкісними дефектами). Моделі, навчені на таких синтетичних даних, показують високу стійкість до шуму та здатність ефективно виявляти аномалії, що робить їх надійним інструментом для інтелектуального виробництва. Таким чином, використання генеративних моделей відкриває шлях до створення масштабованих і гнучких рішень у сфері штучного інтелекту без необхідності залучення великих обсягів конфіденційних реальних даних.

Цей приклад ілюструє, як VAE може навчитися вловлювати ключові статистичні характеристики реальних даних. Хоча згенеровані дані не є точними копіями, вони мають подібний розподіл і патерни, що робить їх придатними для навчання моделей ШІ.

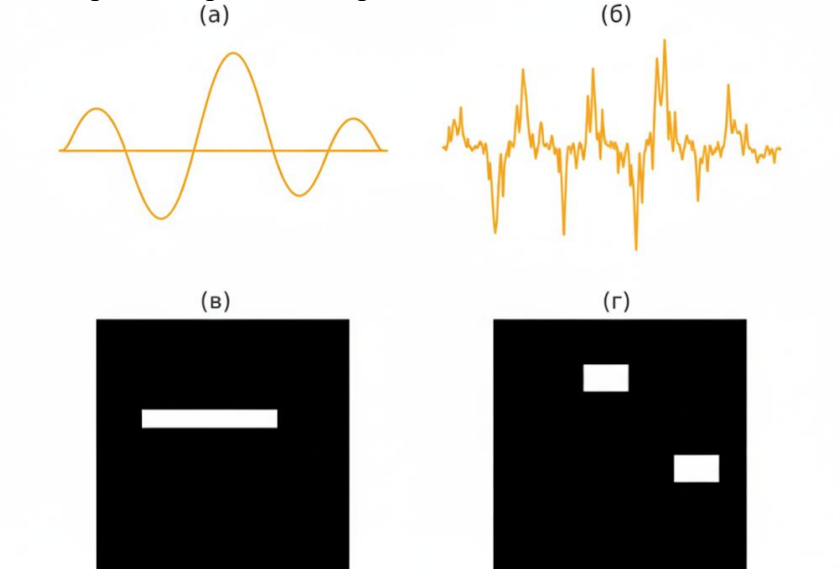


Рисунок 1 - Приклад реальних і синтетичних даних для навчання моделі прогнозування:

а) реальні вібрації обладнання, б) Синтетичні вібрації (з дефектами); в) реальний дефект (подряпина); г) синтетичний дефект (плями).

На Рисунку 1 можна побачити візуалізацію. Якщо ми спроектуємо реальні та синтетичні дані на двовимірний простір (наприклад, за допомогою PCA), їх кластери

повинні перетинатися або бути дуже схожими, що підтверджує, що синтетичні дані успішно імітують статистичний розподіл реальних. Це означає, що модель, навчена на цих синтетичних даних, буде працювати ефективно і на реальних даних.

Обговорення результатів

Наші дослідження показали, що використання синтетичних даних надає кілька важливих переваг. По-перше, вони значно збільшують обсяг навчальної вибірки, що критично важливо для навчання складних моделей глибокого навчання, які вимагають великої кількості даних для досягнення високої точності. По-друге, синтетичні дані допомагають мінімізувати ризики витоку конфіденційної інформації, оскільки вони не містять жодних реальних персональних чи комерційних даних, що робить їх ідеальними для використання в умовах суворих стандартів безпеки. По-третє, вони дозволяють покращити збалансованість даних між різними класами, наприклад, між рідкісними дефектами та нормальними зразками, що значно покращує здатність моделі виявляти аномалії. Нарешті, навчання на синтетичних даних допомагає забезпечити стійкість моделей до шумів та рідкісних, непередбачуваних сценаріїв, які можуть виникнути у реальному виробництві.

Однак, незважаючи на очевидні переваги, залишається актуальним питання валідації якості синтетичних даних. Розробка надійних методів автоматичної оцінки їх репрезентативності та відповідності реальним процесам є ключовим напрямком для подальших досліджень.

Висновки

Синтетичні дані є не просто доповненням, а важливим інструментом для розвитку ШІ в Індустрії 4.0. Генеративні моделі, такі як GAN (генеративно-змагальні мережі) та VAE (варіаційні автокодувальники), демонструють великий потенціал для імітації складних, багатовимірних виробничих процесів, дозволяючи створювати реалістичні та корисні набори даних. Подальші дослідження мають зосередитися на розробці методик інтеграції цих синтетичних даних у реальні виробничі системи та на створенні передових методів для їх автоматичної оцінки та валідації. Це дозволить ще більше розширити можливості ШІ в сфері інтелектуального виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комерціалізація інновацій в умовах Індустрії 4.0 : монографія / за заг. ред. канд. екон. наук, доц. Л. Ю. Сагер. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 385 с.
2. Литвиненко В.В. Індустрія 4.0: технології та перспективи. Київ: Наукова думка, 2021.

Комерціалізація інновацій: захист інтелектуального капіталу, маркетинг та комунікації : монографія / за заг. ред. канд. екон. наук, доц. Л. Ю. Сагер, канд. екон. наук, доц. Л. О. Сигиди. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 363 с.

СЕКЦІЯ 7
«РОЗВИТОК НАУКИ ПРО ЖИТТЯ І ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ»

УДК 614.2:005.6:006

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ ГАЛУЗІ

Головчук Ю.О., Школьнікова В.В.
Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

Реформування системи охорони здоров'я є складним і багатогранним процесом, що передбачає не лише зміну фінансових механізмів чи організаційної структури, а й запровадження нових підходів до забезпечення якості медичних послуг. У сучасних умовах підвищення конкуренції між медичними закладами, зростання інформованості пацієнтів та інтеграції України у світовий медичний простір питання управління якістю та стандартизації стають ключовими для ефективного функціонування галузі.

Управління якістю медичної допомоги є системою заходів, спрямованих на забезпечення відповідності наданих послуг встановленим стандартам, клінічним протоколам та очікуванням пацієнтів. Це включає планування, моніторинг, аналіз показників ефективності, а також постійне вдосконалення процесів.

З точки зору пацієнта, якість медичної допомоги визначається своєчасністю, доступністю, безпечністю та результативністю лікування. З боку держави – це дотримання затверджених стандартів, оптимальне використання ресурсів та забезпечення прозорості діяльності закладів охорони здоров'я.

Стандартизація медичних послуг передбачає розробку та впровадження уніфікованих клінічних протоколів, алгоритмів діагностики і лікування, а також єдиних вимог до обладнання, персоналу та організації роботи медичних закладів.

У міжнародній практиці стандартизація є запорукою високої якості медичної допомоги, оскільки вона дозволяє:

– мінімізувати різницю в рівні послуг між різними регіонами;
– гарантувати безпеку пацієнтів;
– оптимізувати витрати;
– спростити взаємодію між різними закладами охорони здоров'я, включно з міжнародними [1, с. 240-289; 3].

В умовах реформування охорони здоров'я в Україні особливого значення набуває адаптація міжнародних стандартів, таких як ISO 9001, а також рекомендацій ВООЗ і Європейського Союзу, до національної системи.

Попри очевидні переваги, процес впровадження сучасних підходів до управління якістю та стандартизації супроводжується низкою викликів. Однією з ключових проблем є нерівномірний рівень матеріально-технічного забезпечення медичних закладів, що особливо помітно при порівнянні великих міст і сільських регіонів. Це призводить до суттєвих відмінностей у доступності та якості надання медичних послуг. Додатковою перешкодою є низький рівень підготовки персоналу у сфері менеджменту якості та недостатнє усвідомлення важливості дотримання стандартів. Також значною проблемою залишається складність уніфікації клінічних протоколів, що зумовлено постійними змінами у світових підходах до лікування та появою нових медичних технологій.

Фінансові обмеження, у свою чергу, ускладнюють оновлення обладнання, впровадження сучасних систем контролю якості та проведення регулярного навчання персоналу [2; 4].

Майбутнє управління якістю та стандартизації медичних послуг в Україні безпосередньо залежить від комплексності та послідовності реформ. Перспективними напрямами розвитку є створення національної системи моніторингу якості з інтеграцією електронних медичних записів, що дозволить забезпечити ефективний збір і аналіз даних. Важливим кроком стане розширення програм підвищення кваліфікації для медичного та управлінського персоналу, що сприятиме формуванню високопрофесійного кадрового потенціалу. Не менш значущим є впровадження міжнародних стандартів та сертифікацій, які допоможуть вивести українські медичні заклади на світовий рівень і підвищити довіру пацієнтів. Крім того, необхідно забезпечити максимальну прозорість та підзвітність діяльності закладів охорони здоров'я перед пацієнтами та державою, що стане запорукою ефективності та сталого розвитку галузі [4; 5, с. 113-162].

Висновки. Управління якістю та стандартизація медичної допомоги є ключовими складовими сучасної моделі охорони здоров'я, що здатна забезпечити високу ефективність, безпечність та довіру з боку пацієнтів. В умовах реформування галузі вони стають не лише інструментами контролю, а й механізмами постійного розвитку та вдосконалення медичних послуг. Впровадження системного підходу до управління якістю та уніфікація стандартів створюють основу для побудови конкурентоспроможної, прозорої та пацієнт-орієнтованої системи охорони здоров'я.

ЛІТЕРАТУРА

8. Головчук Ю.О. Адаптація європейського досвіду впровадження цифрових технологій в освітні та медичні заклади України. Цифровізація як інструмент забезпечення якості ндання освітніх послуг з урахуванням європейського досвіду [колективна монографія] / за ред. А.В. Череп, І.М. Дашко, Ю.О. Огренич, О.Г. Череп: Запоріжжя: ФОП Мокшанов В.В., 2024. – С. 240-289. URL: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/24081

9. Головчук Ю.О. Стратегії менеджменту для впровадження цифрових технологій у сфері охорони здоров'я/ Ю.О. Головчук, О.О. Галаченко, Г.О. Палагнюк, М.С. Трет'яков // Ефективна економіка. – 2025. – № 1. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.1.7

10. Головчук Ю.О. Імплементація програми медичних гарантій у стратегічне планування закладів охорони здоров'я/ Ю.О. Головчук, С.С. Поліщук, Г.О. Палагнюк // Інвестиції: практика та досвід. – 2025. – № 14. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.14.30

11. Головчук Ю.О. Інновації в електронній охороні здоров'я як складова менеджменту в Україні/ Ю.О. Головчук, К.М. Вергелес, О.А. Назарчук, О.А. Ночвіна, Г.М. Мазур // Інвестиції: практика та досвід. – 2025. – № 2. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.2.61

12. Головчук Ю.О. Цифровізація медицини як ключовий фактор ефективного управління закладами охорони здоров'я. Цифрова трансформація економіки України шляхом інтеграції європейського досвіду в умовах війни та повоєнного відновлення : колективна монографія / за ред. А. В. Череп, І.М. Дашко, Ю.О. Огренич, О.Г. Череп, В.М. Гельман. Рига, Латвія : Baltija Publishing, – 2025. – 396 с. – С. 113-162. https://dspace.vnmu.edu.ua/123456789/10185

УДК 005.8:614.2:004

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ОХОРОНОЮ ЗДОРОВ'Я

Головчук Ю.О., Шкребтієнко В.М.
Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

У XXI столітті цифровізація стала однією з ключових рушійних сил трансформації систем охорони здоров'я у світі. Впровадження цифрових технологій у медичний менеджмент і адміністрування дозволяє не лише оптимізувати робочі процеси, а й забезпечити новий рівень якості, доступності та безперервності медичних послуг. У глобальному вимірі це є відповіддю на виклики зростання витрат на медицину, старіння населення, браку кадрів та необхідності швидкого реагування на кризові ситуації, зокрема пандемії та надзвичайні події.

Цифрові технології у сфері управління охороною здоров'я охоплюють широкий спектр інструментів: від електронних медичних записів і телемедицини до аналітики великих даних та штучного інтелекту. Їхнє впровадження змінює парадигму організації медичної допомоги, зменшуючи залежність від паперових документів і дозволяючи керівникам закладів охорони здоров'я приймати рішення на основі реальних, актуальних та комплексно оброблених даних.

Особливої ваги набуває інтеграція медичних інформаційних систем на регіональному та національному рівнях, що дозволяє забезпечити безперервність обслуговування пацієнта незалежно від місця його звернення. Це відкриває шлях до побудови єдиних електронних карток пацієнтів, зручних для лікарів, пацієнтів та адміністраторів.

Основні напрями цифрової трансформації в управлінні:

– електронні медичні записи (EMR/EHR) – створюють централізовану базу даних про пацієнта, яка доступна різним закладам охорони здоров'я та дозволяє швидко отримати повну історію лікування;

– телемедицина – забезпечує дистанційні консультації та моніторинг стану пацієнтів, що особливо важливо для віддалених регіонів та в умовах обмежень пересування;

– аналітика великих даних – дає змогу прогнозувати епідеміологічні тенденції, аналізувати ефективність лікування, оптимізувати розподіл ресурсів;

– штучний інтелект і машинне навчання – застосовуються для допомоги в діагностиці, виявленні закономірностей у медичних даних та розробці індивідуальних планів лікування;

– мобільні додатки для пацієнтів – підвищують рівень залученості та відповідальності за власне здоров'я, спрощують комунікацію з медичними працівниками;

– інтернет речей (IoT) у медицині – датчики, носимі пристрої та дистанційні моніторингові системи для відстеження життєвих показників [1, с. 240-289; 2].

Впровадження цифрових технологій у систему управління охороною здоров'я є багатовимірним процесом, який, поряд із численними перевагами, супроводжується низкою викликів і ризиків. Їх ігнорування може призвести до уповільнення цифрової трансформації або навіть до зниження ефективності медичного обслуговування.

Одним із ключових викликів цифровізації управління охороною здоров'я є забезпечення кібербезпеки та захисту персональних даних. Медичні інформаційні системи акумулюють величезні обсяги чутливої інформації про пацієнтів, включно з історією хвороби, результатами обстежень, даними про лікування та генетичними показниками.

Будь-яке порушення безпеки може призвести не лише до витоку даних і фінансових втрат, але й до суттєвого підриву довіри пацієнтів до медичних закладів. У міжнародній практиці, зокрема в країнах Європейського Союзу, цим питанням приділяється особлива увага. Значну роль відіграє дотримання вимог GDPR (General Data Protection Regulation), який встановлює суворі стандарти обробки та зберігання персональних даних, передбачаючи відповідальність за їхнє неналежне використання.

Ще однією проблемою є неоднорідність технічної інфраструктури у різних регіонах. У країнах із великим територіальним охопленням сучасне обладнання та швидкісний інтернет є звичним явищем у великих містах, проте залишаються рідкістю у віддалених або сільських районах. Це призводить до дисбалансу у доступі населення до телемедичних послуг та цифрових медичних сервісів, що поглиблює нерівність у сфері охорони здоров'я.

Не менш важливим викликом є низький рівень цифрової грамотності частини медичного персоналу. Успішне впровадження новітніх технологій залежить не лише від технічного забезпечення, але й від готовності та здатності медичних працівників ефективно їх використовувати. За даними ВООЗ, у багатьох країнах спостерігається дефіцит фахівців, які володіють інструментами електронної медицини, що обумовлює необхідність систематичного навчання, підвищення кваліфікації та розробки програм безперервної професійної освіти у сфері цифрових технологій.

Крім того, цифровізація значно випереджає розвиток нормативно-правової бази. Стає очевидною потреба у комплексній адаптації законодавства для регулювання таких питань, як електронна ідентифікація пацієнтів, телемедицина, електронні рецепти та безпечний обмін медичними даними між установами різних відомств і навіть різних країн. Лише своєчасне оновлення правового поля дозволить максимально ефективно та безпечно інтегрувати цифрові інструменти в управління охороною здоров'я.

Водночас ці виклики є не лише бар'єрами, а й каталізаторами розвитку. Вони стимулюють інвестиції в кіберзахист, розширення інфраструктури, створення навчальних програм для медичного персоналу та вдосконалення законодавства, що в перспективі підвищить ефективність системи охорони здоров'я.

Цифровізація управління охороною здоров'я у найближчі роки продовжить розвиватися у напрямі створення інтелектуально керованих, пацієнт-орієнтованих і інтегрованих систем. Одним із ключових векторів змін стане персоналізована медицина. Використання великих даних, геномних досліджень та алгоритмів штучного інтелекту дозволить адаптувати лікування до індивідуальних потреб пацієнта, що значно підвищить ефективність терапії та зменшить ризики побічних ефектів [3; 4].

Важливу роль відіграватиме превентивний підхід, у межах якого акцент зміщується з лікування на профілактику. Використання носимих пристроїв та дистанційних моніторингових систем забезпечить можливість виявлення відхилень у стані здоров'я на ранніх етапах, що сприятиме зменшенню кількості госпіталізацій і оптимізації витрат на медичну допомогу.

Ще однією тенденцією стане глибша інтеграція секторів охорони здоров'я з фармацевтичною галуззю, сферою соціального захисту, громадським здоров'ям та освітніми платформами. Такий підхід сприятиме формуванню єдиного цифрового середовища, у якому дані пацієнта будуть безпечно доступними всім уповноваженим фахівцям, що підвищить оперативність і точність прийняття рішень.

Паралельно зростатиме роль пацієнта у власному оздоровчому процесі. Поширення концепції self-care передбачає активне використання мобільних додатків, чат-ботів і персональних кабінетів, що перетворить пацієнта з пасивного отримувача медичних послуг на повноправного учасника процесу лікування.

Ключовим завданням майбутньої цифровізації залишатиметься гармонізація технологій і людського фактора. Автоматизація має підсилювати професійні навички медиків, а не замінювати їх, зберігаючи при цьому гуманістичні засади медицини. У

перспективі цифрові технології сформують систему, що працюватиме на випередження, передбачатиме ризики та оперативно реагуватиме на нові загрози, забезпечуючи пацієнтам якісну, безпечну та доступну медичну допомогу [4; 5, с. 113-162].

Висновки. Цифрові технології поступово перетворюють управління охороною здоров'я на високотехнологічну, аналітично керовану та пацієнт-орієнтовану систему. Їхнє впровадження дозволяє підвищити ефективність адміністративних процесів, забезпечити прозорість прийняття рішень та створити умови для більш оперативного та персоналізованого надання медичних послуг. У майбутньому цифрові технології стануть не просто інструментом підтримки управлінських рішень, а фундаментом інтегрованих систем охорони здоров'я, здатних прогнозувати ризики, запобігати захворюванням і забезпечувати найвищі стандарти якості медичної допомоги. Таким чином, цифровізація є не тимчасовим трендом, а стратегічним напрямом розвитку галузі, що визначатиме її конкурентоспроможність і стійкість у XXI столітті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Головчук Ю.О. Адаптація європейського досвіду впровадження цифрових технологій в освітні та медичні заклади України. Цифровізація як інструмент забезпечення якості ндання освітніх послуг з урахуванням європейського досвіду [колективна монографія] / за ред. А.В. Череп, І.М. Дашко, Ю.О. Огренич, О.Г. Череп: Запоріжжя: ФОП Мокшанов В.В., 2024. – С. 240-289. URL: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/24081
2. Головчук Ю.О. Стратегії менеджменту для впровадження цифрових технологій у сфері охорони здоров'я/ Ю.О. Головчук, О.О. Галаченко, Г.О. Палагнюк, М.С. Трет'яков // Ефективна економіка. – 2025. – № 1. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.1.7
3. Головчук Ю.О. Імплементація програми медичних гарантій у стратегічне планування закладів охорони здоров'я/ Ю.О. Головчук, С.С. Поліщук, Г.О. Палагнюк // Інвестиції: практика та досвід. – 2025. – № 14. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.14.30
4. Головчук Ю.О. Інновації в електронній охороні здоров'я як складова менеджменту в Україні/ Ю.О. Головчук, К.М. Вергелес, О.А. Назарчук, О.А. Ночвіна, Г.М. Мазур // Інвестиції: практика та досвід. – 2025. – № 2. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.2.61
5. Головчук Ю.О. Цифровізація медицини як ключовий фактор ефективного управління закладами охорони здоров'я. Цифрова трансформація економіки України шляхом інтеграції європейського досвіду в умовах війни та повоєнного відновлення : колективна монографія / за ред. А. В. Череп, І.М. Дашко, Ю.О. Огренич, О.Г. Череп, В.М. Гельман. Рига, Латвія : Baltija Publishing, – 2025. – 396 с. – С. 113-162. https://dspace.vnmu.edu.ua/123456789/10185

УДК 668.5-035.4:661.185

ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗВОДНОЇ КОСМЕТИКИ (ТВЕРДИХ ШАМПУНІВ) В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Роїк О.М., Литвин В.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

Зберігання водних ресурсів, захист навколишнього середовища та розробка сталого виробництва є ключовими глобальними викликами сучасності. У цьому контексті розробка та впровадження твердих шампунів є винятково актуальною темою як з екологічної, так і з економічної точок зору. Їхня розробка та популяризація є частиною ширшого руху до сталого споживання та відповідального виробництва, що має значний вплив на збереження ресурсів та мінімізацію відходів [1, 2].

Однією з найбільш значущих переваг твердих шампунів є відсутність води у їхньому складі. Це має прямий вплив на екологічну ефективність виробництва, оскільки для створення однієї одиниці продукту не потрібно використовувати та транспортувати воду, яка становить 60–80% маси звичайного рідкого шампуню. Це допомагає зберегти цінні водні ресурси, особливо в регіонах, де відчувається їхній дефіцит. Компактність і менша вага твердих шампунів суттєво скорочують витрати на логістику. Для транспортування тієї ж кількості продукту, що міститься в кількох пластикових пляшках, потрібно менше місця і, відповідно, менше палива. Це призводить до зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу, що сприяє боротьбі зі зміною клімату. Тверді шампуні зазвичай упаковують у біорозкладні або перероблювані матеріали, такі як папір, картон або ж взагалі без пакування. Це дозволяє уникнути використання мільйонів пластикових пляшок, які є одним із найбільших джерел забруднення навколишнього середовища, особливо в океанах. Цей підхід відповідає принципам циркулярної економіки [2, 3, 4].

Завдяки високій концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) та інших активних компонентів, твердий шампунь є більш концентрованим і довговічним. Один брусок може замінити 2-3 пляшки рідкого шампуню, що робить його економічно вигідним для споживача. Компактний формат є ідеальним для подорожей, оскільки він не проливається, не підпадає під обмеження на перевезення рідин у ручній поклажі та займає мінімум місця. Багато твердих шампунів містять натуральні інгредієнти та меншу кількість консервантів, що робить їх привабливими для людей, які прагнуть використовувати продукти з "чистим" складом. Такий підхід відповідає зростаючій тенденції до усвідомленого споживання та піклування про здоров'я.

Висновки. Таким чином, розробка та поширення твердих шампунів — це не просто модна тенденція, а важливий крок у напрямку сталого розвитку, що пропонує конкретні рішення для глобальних проблем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Заіченко, С. А., & Свириденко, Н. В. (2020). Безводна косметика: перспективи та виклики. Журнал "Косметологія і ароматерапія", 1(1), 25–32.
2. K. S. L. Taha. (2021). Solid Cosmetics: The new trend of sustainable development. "International Journal of Engineering and Applied Sciences", 8(2), 1-5.
3. S. D. Popova, & L. D. Vasileva. (2019). Solid shampoo as a sustainable alternative to traditional liquid shampoos. "Journal of Sustainable Development", 12(4), 101-110.
4. Власова, Н. О., & Гриб, В. О. (2021). Екологічні переваги та економічна ефективність твердих шампунів. "Вісник Київського національного університету технологій та дизайну", 25(3), 112–119.

UDC 544.723.21

MULTIFUNCTIONAL SILICA NANOPARTICLES FOR REMOVAL AND SENSING OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS IN WATER

Semeshko O.[1, 2], Melnyk I.[2]
[1] Kherson National Technical University
[2] Institute of Geotechnics of Slovak Academy of Sciences

The growing demand for sustainable technologies in environmental science has stimulated the development of multifunctional materials capable of addressing several environmental challenges simultaneously. In this work, we report a comprehensive approach to water purification and monitoring using eco-friendly silica-based nanomaterials. These materials were synthesized from a natural mineral source and functionalized with silane reagents containing amino and phenyl groups, enabling them to act as efficient adsorbents for rare-earth metal ions and synthetic dyes, as well as fluorescent sensors for the detection of antibiotic residues in water.

Rare-earth elements (REEs), including lanthanum (La), cerium (Ce), and europium (Eu), are widely used in modern technologies such as batteries, magnets, and phosphors. However, significant amounts of these valuable elements are lost through waste streams associated with discarded electronic devices. At the same time, environmental contamination with synthetic dyes used in the textile industry – such as Disperse Yellow 82 – and pharmaceuticals including doxycycline and norfloxacin, has become a serious issue. These pollutants are often resistant to conventional water treatment methods and pose risks to ecosystems and public health due to their toxicity and persistence.

To address these challenges, silica nanoparticles were synthesized via a low-cost, eco-friendly process using quartz-rich orthogneiss from the Olevsk region (Ukraine). The synthesis involved mechanical grinding, thermal treatment, acid leaching, alkaline dissolution, and subsequent gel formation with nitric acid. This process yielded amorphous silica nanoparticles with an average diameter of ~50 nm and a purity of 99.9%. Functionalization was achieved using silane agents bearing amino, diamino, and phenyl groups, resulting in mono- and bifunctional materials with different adsorption sites.

The silica functionalized with diamino and phenyl groups was tested for the adsorption of La^{3+}, Ce^{3+}, and Eu^{3+} in a ternary system. The adsorption capacity followed the trend La < Ce < Eu, influenced by cation size and competitive interactions in solution. The presence of REEs on the nanoparticle surface was confirmed by XP and EDX spectroscopies. Silica particles loaded with REEs exhibited promising photoluminescent properties in the presence of doxycycline, owing to the “antenna effect,” where energy transfer from Ce and La to Eu enhanced luminescence intensity. The highest fluorescence yield (82%) was observed for the sample containing all three lanthanides, indicating synergistic sensitization effects. The sensor showed a linear response to doxycycline in the studied range, with a limit of detection (LOD) of 0.07 mg/L and a limit of quantification (LOQ) of 0.2 mg/L.

The amino- and phenyl-functionalized materials also demonstrated high adsorption capacity toward the textile dye Disperse Yellow 82. Adsorption behavior followed the Freundlich isotherm model, indicating adsorption on a heterogeneous surface with non-uniform energy distribution (with sites of varying affinities). The immobilized dye was subsequently used to construct another type of fluorescent sensor for norfloxacin detection. The increased fluorescence in this system was associated with specific interactions between the immobilized dye and the antibiotic, resulting in enhanced photoluminescent sensitivity and stability. For

norfloxacin detection, the sensor exhibited an LOD of 0.08 mg/L and an LOQ of 0.25 mg/L, with high selectivity and minimal interference from other compounds.

Photoluminescence experiments further revealed that bifunctionalized silica materials, where the second group is phenyl, exhibited stronger fluorescence compared to monofunctional ones in the presence of doxycycline and norfloxacin. This effect was attributed to hydrophobic sites on the surface, which prevented fluorescence quenching by water molecules and enhanced emission through π-conjugation.

Conclusions. Overall, this study demonstrates that silica nanoparticles derived from natural mineral sources, when properly functionalized, can serve as a platform for multifunctional environmental applications. These include efficient adsorption of rare-earth elements and textile dyes, as well as selective and sensitive fluorescence-based detection of pharmaceutical pollutants in water. The use of natural quartz as a silica precursor reduces production costs and environmental impact, making this approach both economically and ecologically attractive.

The research was supported by the Recovery and Resilience Plan for Slovakia 09I03-03-V04-00708, VEGA 2/0138/24, and HORIZON-MSCA-2022-SE-01 (CLEANWATER – 101131382) projects.

UDC 543:543.5:54.05

OIL-CONTAINING DIETARY SUPPLEMENTS: ECOLOGICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR LABORATORY ANALYSIS

Tereshchenko N.Y.
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Oil-containing dietary supplements are special food products [1]; they should be of high quality and safe for the human body. Laboratory control of some quality indicators should carried out using standardized methods of food control [2].

The purpose of the work is to study the influence of environmental factors and to identify the features of parameters of laboratory control of quality indicators of dietary supplements, for a better understanding of the food chain of vegetable oils and products based on them.

Oil-containing dietary supplements were divided into two groups according to their component composition: dietary supplements - mixtures of triglycerides, sources of fatty acids; dietary supplements - sources of fat-soluble vitamins. Each group contained several subgroups of laboratory samples formed from samples of the same chemical composition and the same form of release (capsules, emulsion, liquid, syrup). The following sample preparation methods were used in the work: grinding, centrifugation, filtration, extraction [3,4].

Since the work investigated the quality indicators of oil-containing dietary supplements, standardized lipid research methods were used: gravimetric analysis of the mass of one dose of dietary supplement, titrimetric for measuring the content of free fatty acids in the composition of edible oils. It was use DSTU EN ISO 660:2009 and for lipid peroxidation products - DSTU 4570:2006; chromatographic (GC/PID- DSTU ISO 5509-2002, GC/MS - DSTU EN 1528-1-2002, HPLC/FLD) for measuring fatty acid composition, pesticide residues and polycyclic aromatic hydrocarbons. Measurements were carried out in a series of 5 parallel samples, calculation of the average and error of the test results was carried out in the MS Excel program.

Results. Samples of vegetable oils enriched with Omega-3 triglycerides studied in the subgroup of “capsules” and “liquid” were characterized by acid numbers (AN) from 0.25 mg/g to 3.25 mg/g. The AN values found in the studies differ from the norm of the acid number of refined edible sunflower oil for food purposes (AN of edible sunflower oil ≤ 0.4 mg/g). The AN

values of lipids of oil-containing dietary supplements are determined by the content of free fatty acids in their composition. Considering that the enrichment of sunflower oil with Omega-3 fatty acids occurs due to the addition of triglycerides of fish oil, an increase in the content of free fatty acids in the product matrix should not occur, therefore, exceeding the content of 0.4 mg/g of free fatty acids in the composition of the dietary supplement is a sign of loss of product quality. The peroxide values of the samples of the "capsule" subgroup did not exceed 1 mmol/kg and were lower than the corresponding values of the samples of the "liquid" subgroup (up to 4.95 mmol/kg) and the analytical sample of edible sunflower oil. This is due to the peculiarities of the release form, the capsule prevents contact of the lipid mixture with atmospheric oxygen during storage and, as a result, the access of the oxidant is restricted, the course of the reactions of peroxidation of hydrocarbon chains of unsaturated fatty acids is carried out due to the peroxide compounds that were included in the composition of the dietary supplement as components of the raw material. Oils enriched with vitamins A, E were characterized by the absence of peroxides, which is probably due to the inhibition of the oxidation processes of triglycerides of fatty acids in the presence of antioxidant vitamins in in vitro reactions throughout the entire shelf life. The presence of vitamins in the composition of oil-containing dietary supplements allows, without additional stages of sample preparation, to study the fatty acid composition of oils by GC/FID according to the methodology developed for the analysis of edible oils. Due to the technical equipment of the gas chromatography method with a mass-selective detector, screening and detection of target ions of xenobiotics is carried out provided that the analyte signal ($0.33 \times I$ analyte $\geq$ I noise) exceeds the noise signal by a factor of three. However, the analysis of oils for the presence of xenobiotic carcinogens from the group of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in their composition becomes impossible due to the molecular structural features of vitamins A and E, namely the presence of a benzene ring. To measure the content of carcinogens from the PAH group in oils and their mixtures enriched with fat-soluble vitamins, additional studies are required to develop a sample preparation methodology, in particular the stage of isolation of vitamins A, E from the lipid matrix of the sample. In further studies, it is planned to compare the results of laboratory control of the content of vitamins in the composition of the dietary supplement, obtained using DSTU EN 12823-1:2005 and the corresponding pharmacopoeial methods.

Conclusions. Since dietary supplements are special food products, laboratory control of their quality indicators requires an appropriate methodology, which can be developed on the basis of standardized methods for quality control of food products and food raw materials (DSTU). Considering the chemical composition and biomedical significance of dietary supplements, at this stage of development of laboratory control methods, the content of biologically active substances, for example, vitamins, should be carried out using the methods of quality control specified in the State Pharmacopoeia of Ukraine. An integrated approach to laboratory analysis will help to better understand the food chains of vegetable oils, and ensure the safe use of products for consumers.

LITERATURE

1. Tereshchenko N., Kravchenko S., Khyzhan A. and other. The Determination The Safety of lipids nutrients for the prevention of atherosclerosis. // PLANTA+. SCIENCE, PRACTICE AND EDUCATION: materials of the V scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Chemical Sciences, Professor Nina Pavlovna Maksyutina (to the 100th anniversary of her birth) (Kyiv, January 28-29, 2025). – 2025. – Vol. 2. – P. 86-87.
2. Tereshchenko N., Kursenko O, Khyzhan O. and other. Determination of Pesticide Residues by Chromatographic Methods for Food Safety //Plant and Soil Science. – 2021. – Vol. 3. – №. 12. – P. 111-119.
3. Tereshchenko N., Khyzhan O., Maksin V. and other. The Complex Method for Measurement Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil, Water, Plant Products //French-Ukrainian Journal of Chemistry. – 2021. – Vol. 9. – №. 2. – P. 1-11.

4. Melnychuk S, Lohanska V, Baranov Y. and other. Monitoring in oils pesticides residues and polycyclic aromatic hydrocarbons for safety of vegetable oils. //Potravinarstvo: Scientific Journal for Food Industry. – 2013. – Vol. 7. – P. 45-52.

УДК 621.313

ТЕХНОЛОГІЯ ГЕНЕТИЧНОГО ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЯК НАУКОВА ПЛАТФОРМА В РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЇ КЕРОВАНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ТЕХНІЧНИМИ ІННОВАЦІЯМИ

Шинкаренко В.Ф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фундаментальні принципи генетичної організації і еволюції мають системну природу, а методологія їх досліджень давно вийшла за межі суто біологічних дисциплін. За останні півстоліття системна генетика перетворилася на потужний інструментарій трансдисциплінарних досліджень складних систем різної фізичної природи, які узагальнюються поняттям генетично організованих систем (ГОС).

Концепція керованої (спрямованої) еволюції (Directed Evolution) сьогодні розцінюється експертами як революція в структурній геноміці, яка започаткувала золоту еру в сучасній біологічній науці [1,2]. Новітня технологія відкрила можливість синтезувати структури білків з заданими властивостями та функціями. За дослідження направленої еволюції ферментів і розробку способу прогнозування і визначення просторової структури протеїну за амінокислотною послідовністю, групи авторів була удостоєна Нобелівської премії з хімії за 2018 та 2024 роки. У поєднанні з інструментарієм штучного інтелекту, технологія Directed Evolution має далекосяжні наслідки для різних галузей, включаючи біотехнологію, синтетичну біологію та медицину.

У широкому аспекті ідея керованої еволюції є неминучим етапом в досягненні гармонійного співіснування природи, соціуму та техніки і поширюється на ГОС як природного, так і антропогенного походження. Можливі шляхи і ризики керованого впливу на глобальні еволюційні процеси є предметом досліджень і дискусій за проблематикою філософських досліджень, за напрямами «подолання глобальної екологічної кризи» [3], створення «…глобальної системи управління світоустроєм, забезпеченні сталого розвитку людства…» [4], в публічному управлінні і адмініструванні [5] тощо. Принцип керованої коеволюції має за кінцеву мету забезпечити гармонійну коеволюцію взаємопов'язаної системи «людство-природа-техніка», де людині належить провідна роль, як сценарій майбутнього розвитку всього людства.

Науково-методичні засади і організацію геномно-еволюційних досліджень в технічних науках, як на рівні об'єктів, так і на рівні вищих таксономічних категорій, започатковано в Україні. На початку 2000 років, на кафедрі електромеханіки КПІ ім. Ігоря Сікорського, вперше в світовій практиці здійснено розшифрування геномів найбільш поширених функціональних класів електричних машин. розроблено теоретичні і методологічні засади їх генетичної систематики і розроблено технологію генетичного передбаченя [6,7]. Основна ідея технології генетичного передбачення грунтується на конвергенції результатів розшифрування і прогностичного аналізу макрогенетичних програм структуроутворення з когнітивним простором людини – дослідника. Зазначена взаємодія визначає і забезпечує можливість реалізації механізмів керованої еволюції не тільки на об'єктному рівні, але й на рівні вищих таксономічних категорій (видів, родів, гомологічних рядів та функціональних класів).

Відкриттям періодичної генетичної класифікації первинних джерел електромагнітного поля і результатами геномних досліджень вперше було підтверджено, що концепція генетично-організованих систем (ГОС) поширюється і на технічні об'єкти різної фізичної природи. Розробка і апробація положень теорії генетичної еволюції антропогенних систем, відкрили можливість доступу до кластерів структурної геноміки і генетичної таксономії об'єктів електромеханіки і механіки. За результатами постановки еволюційних експериментів встановлено, що існуюча різноманітність електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів) повністю задовольняє системним принципам генетичного структуроутворення і законам багаторівневої еволюції систем (рис. 1).



Рисунок 1 - Рівні генетичної організації складних технічних систем в концепції керованої еволюції.

Прогностична інформація, механізми передбачення і генетично допустимі варіанти еволюційних сценаріїв зашифровано у структурі геномів, інформаційними носіями яких виступають генетичні програми відповідних функціональних класів ЕМ-об'єктів [8, 9]. Тому пізнання і розуміння генетичної організації і механізмів керування складністю в еволюції поколінь об'єктів техніки, розпочинається з визначення і аналізу макрогенетичної програми досліджуваного класу технічних систем.

В концепції ГОС, довільний ЕМ-об'єкт виступає фізичним носієм генетичної інформації, аналіз якої дозволяє ідентифікувати його генетичний код таксономічну приналежність його структури до відповідного виду, роду, гомологічного ряду і функціонального класу. Функцію системного носія структурного потенціалу довільних таксономічних класів ЕМ-систем виконує їх генетична класифікація (породжувальна система) і макрогенетичні програми відповідних функціональних класів, які наділені гарантованого прогностичною функцією. Макрогенетичні програми містять повну і високоупорядковану інформацію стосовно генетично допустимої різноманітності видів ЕМ-структур, включаючи реально-інформаційні види, які задіяні в адаптивній еволюції, так і структурний потенціал неявних видів, об'єкти яких ще відсутні на даному етапі еволюції. З точки зору теорії генетичного видоутворення, подія, що визначає початкову еволюцію нового виду, визначається появою його першого структурного представника, який виконує функцію тригера для запуску взаємопов'язаного мікро- і макроеволюційного еволюційного процесів з одночасною зміною еволюційного статусу виду (вид «неявний» набуває статусу Виду «реально-інформаційного») (рис. 2).

Послідовність появи вузлових еволюційних подій – виникнення нових видів ЕМ-систем визначаються методами макрогенетичного аналізу з зазначенням їх генетичних кодів, авторів і дати пріоритету їх відкриття. Одночасно підтверджується наявність детермінованих зв'язків відповідних еволюційних подій з місцеположенням батьківських електромагнітних хромосом в періодичній структурі породжувальної системи. Результати еволюційних експериментів підтверджують, що керований людиною процес структуроутворення ЕМ-систем, як на об'єктному, так і на видовому рівнях, відбувається у строгій відповідності з їх генетичними програмами.

Середньочасовий інтервал появи нового виду в історичній еволюції функціональних класів ЕМ-систем становить 50 - 80 років. За сценарієм керованої еволюції, з використанням технології генетичного передбачення і інноваційного синтезу, він скорочується до 2 - 4 років (фактично визначається часом, необхідним для здійснення процедур генетичного передбачення і синтезу, розробку і патентування оригінальних технічних рішень та виготовлення їх дослідних зразків) (рис. 3).

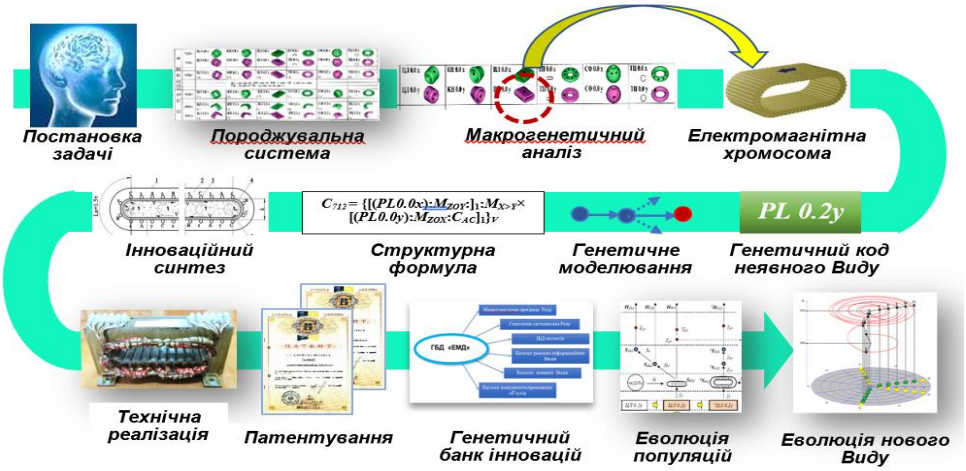
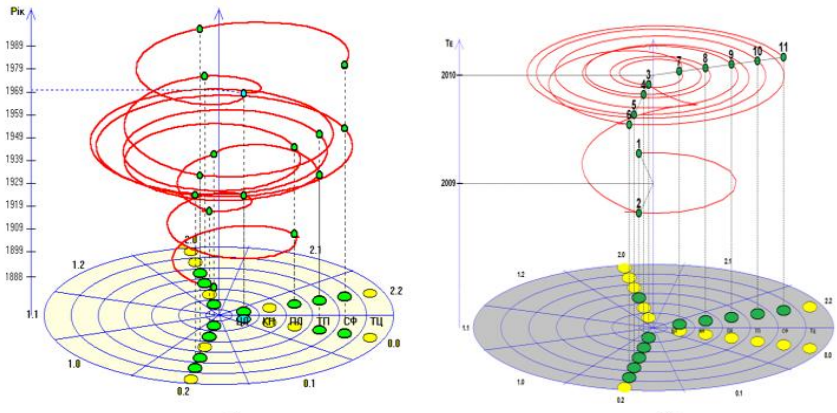


Рис. 2. Концептуальна модель реалізації сценарію керованої еволюції з гарантованим передбаченням і відкриттям нових Видів ЕМ-систем.

За результатами досліджень вперше визначено і експериментально підтверджено основні принципи утворення нових видів ЕМ-систем: генетично-історичний (з можливістю відтворення хронології появи видів, ідентифікації їх генетичних кодів і авторів відкриття) і генетично-прогностичний, зі спрямованим введенням в еволюцію нових видів, як невід'ємної складової стратегії Directed Evolution.



а) б)

Рис. 3. Макроеволюційні траєкторії еволюційного процесу видоутворення ЕМ-систем за даними еволюційних експериментів: а) геномно-історичного (еволюція, що спостерігається), T_E = 150 років; б) геномно-прогностичного (керованого), T_E = 3 роки.

Технологія генетичного передбачення адаптована для постановки і розв'язання задач на хромосомному, популяційному, видовому та родовому рівнях організації ЕМ-систем. Принципи і методи керування еволюційними процесами пройшли успішну апробацію у науці (передбачення і відкриття фундаментальних принципів і законів генетичної еволюції; відкриття і введення в еволюцію нових видів технічних об'єктів; відкриття періодичної системи і принципів генетичного кодування натуральних чисел), в технічній освіті (інноваційні освітні технології в електричній і механічній інженерії), в прикладній інженерії (патентування і введення в еволюцію технічних об'єктів нових видів за результатами аналізу їх макрогенетичних програм).

За результатами аналізу історичного періоду еволюції і структурного потенціалу макрогенетичних програм визначено перспективні кластери для реалізації керованого еволюційного структуроутворення, які визначаються генетичним потенціалом неявних видів: гібридних (моно-, дигібридних, полігібридних та міжсистемних), видів – близнюків (синтезованих на хромосомах – ізотопах), а також видів з домінуванням міжвидових і міжродових структурних мутацій [10, 11]. Результати передбачення і інноваційного синтезу в стратегії керованої еволюції концентруються в генетичних банках інновацій наукового, навчально-методичного, та інженерного призначення.

Висновки. Технологія передбачення і керування технічними інноваціями є вагомою складовою національних інтересів та безпеки держави. Стратегія керованої еволюції належить до сучасних технологій трансдисциплінарного рівня. Вона є результатом конвергенції знань з структурної геноміки, таксономії, технології генетичного передбачення і еволюції антропогенних систем, які через когнітивний простір дослідника, можуть бути адаптовані до відповідної галузі знань. З огляду на стрімке поширення технології штучного інтелекту, інноваційну природу і гостру конкурентну боротьбу на ринку новітніх технологій, настав час прийняття рішень стосовно переходу від форми ініціативних досліджень і тривалих дискусій до цілеспрямованого використання новітньої технології в технічних науках, освіті та інноватиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ryan E Cobb, Ran Chao, Huimin Zhao. Directed Evolution: Past, Present and Future / AIChE J., 2013, Jan 18; 59(5):1432–1440. doi: 10.1002/aic.13995
2. Романюк С.І., Комісаренко С.В. Прорив у прогнозуванні просторової структури та обчислювальному дизайні протеїнів, або чи можна вірити передбаченням штучного інтелекту / Вісник Національної академії наук України, № 2 (2025). -. С.16 – 35. DOI: https://doi.org/10.15407/visn2025.02
3. Шестопалов В.М. Керована еволюція як стратегія подолання глобальної екологічної кризи / Вісник НАН України, 2008, № 5. - С. 3 – 9.
4. Палагін О., Симонов Д. Кібернетична модель раціонального світоустрою в парадигмі спрямованої еволюції / "Проблеми управління та інформатики». Том 67, №6 (2022). – С. 54 – 66. DOI: https://doi.org/10.34229/1028-0979-2022-6-5
5. Половцев О.В., Зубаль О.П. Концепція керованої системної еволюції суб'єкта публічного управління та адміністрування / Вісник Херсонського національного технічного університету. № 4(87) (2023). – С. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.47
6. Шинкаренко В.Ф. На пути к расшифровке генома электромеханических преобразователей энергии. // Технічна електродинаміка. Темат. вип.: "Проблеми сучасної електротехніки". Ч.3. - 2004. – С. 40 –47.
7. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
8. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем. (Междисциплинарный аспект) // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 13, том 4, 2013. – С. 11 - 20.
9. Шинкаренко В.Ф. Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Вип. 11, том 4, 2011. – С. 3 – 19.
10. Шинкаренко В.Ф., Котлярова В.В. Теория и практика управляемой эволюции на уровне произвольных видов электромеханических преобразователей энергии // Науковий вісник ТДАТУ. Вип. 2, Т.1. – С. 3 – 11. https://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf2t1/12svfcoe.pdf

11. Shynkarenko V., Kuznietsov Y. Genetic Programs of Complex Evolutionary Systems (Part 1, 2). 11th Anniversary International scientific Conference «Unitech'11», 18 – 19 November 2011. Gabrovo, Bulgaria.Vol. I. P.p. 33-52.

УДК 621.9:502.131.1

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Гагалюк А.В,. Гагалюк О.І.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Концепція сталого розвитку відома понад 50 років, проте у сфері вітчизняної техніки та технології її на ній почали акцентувати увагу зовсім недавно. Суть концепції полягає у тотальному зменшенні використання і заміні викопного палива на чисті, альтернативні джерела енергії, як вітрова або сонячна. З результатів доповіді ООН кількість спожитої енергії із викопного палива з 1930 р. по 1980 р. майже така сама, як до часу винайдення Дж. Ваттом парової машини (1766 р.) і до1930 р. Тому обмеження щодо використання викопного палива ідея чудова, адже зрозуміло, що у якийсь момент часу і нафта, і вугілля закінчиться. Якщо ж мислити планетарними масштабами, то у нас немає іншої планети, щоб переїхати туди, коли Земля себе вичерпає. В тенденції глобального потепління, тотального збільшення населення, щороку на 800 млн. осіб, дефіцитом питної води це має неабияке значення. Але, особливо дивним є те, що заклики про зменшення викидів звучать не від промислових підприємств, людей техніки, а від політиків, економістів, екологічних активістів і просто популістів. Вони вимагають: просто зменшити викиди, закрити виробництво і т.д. Попри політичні лозунги і заклики, у кінцевому результаті, реалізатором усіх цих екологічних ініціатив стануть промислові підприємства, як одні із найбільших забруднювачів навколишнього середовища.

Давайте наведемо приклад металообробного підприємства середніх розмірів із чисельністю усіх працівників близько від 650 до 1000 осіб, котре виготовляє певні деталі. При виконанні розрахунків встановлено, що менеджмент із приблизно 40 осіб споживає біля 120 кВт/день. Технологічний процес виконується в цеху на металообробних верстатах. є незмінною компонентою на яку зорієнтовані усі решта процеси. Металообробка має відходи, як металічна стружка, відпрацьована МОР, а логістика – це споживання дизеля, як результат – викиди CO_2 і NO_x, верстати та освітлення – це все споживачі електроенергії. Очевидно, що потужностей сонячної та вітрової генерації не достатньо для забезпечення роботи металорізальних верстатів, проте сонячна генерація здатна компенсувати електроенергію для офісних потреб, а протягом ночі незначну часту електроенергії віддавати у мережу, що дозволить компенсувати комерційний тариф та витрати на встановлення сонячних панелей, ще й бути автономними. Заміна ПК на ноутбуки дозволяє скоротити споживання електрики до 24 кВт/день. Це все при умові, що виробничі площі, дозволяють встановити сонячні панелі на даху. За даними компаній зі встановлення сонячних електростанцій для встановлення сонячних панелей потужністю 30 кВт необхідно мати площу даху або земельної ділянки в межах 192 – 194 м^2, а для 100 кВт – 648 м^2. Використання елетрокарів для логістичних потреб дозволяє скоротити частку транспортних витрат. Розрахунки щодо ефективності використання сонячних панелей та терміну окупності проводився для 5 промислових підприємств м.Тернополя. У залежності від площ їх цехів та земельних ділянок термін окупності сонячних панелей складає від 4,5 до 6,5 років.

Висновки.

1. Аналіз роботи промислових підприємств показує, що реалізувати концепцію сталого розвитку у відповідності із початковим задумом буде майже нереально. Сонячні та вітрогенератори мають термін придатност, що вимагатиме заміни або утилізації.
2. Значну кількість технологій виготовлення потрібно буде переглянути або удосконалити. Проте й альтернативи багатьом технологіям виготовлення немає.
3. Атомна електроенергія залишається єдиним джерелом дешевої енергії.

УДК 621.95

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ В ПРОЦЕСІ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ, ЩО ПЕРЕТИНАЮТЬСЯ

[1]Кобельник О.С., [2]Оліховський В.І., [2]Лещук Р.Я., [2] Кобельник В.Р.
[1]ВСП «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
[2]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Відомо, що залежно від типу виробництва, частина свердлильних робіт складає від 5 – 30 % в загальній трудомісткості механічної обробки, і відповідно собівартість свердлильних операцій значно впливає на собівартість продукції.

Слід відзначити, що в значній долі випадків здійснюється свердління отворів, що перетинаються між собою, які в свою чергу можна стверджувати є наскрізними та мають в зонах перетину ряд негативних факторів, наприклад, утворення задирок чи руйнування інструменту в процесі обробки.

Аналіз відомих літературних джерел показує, що при свердлінні наскрізних отворів під дією осьового зусилля P_o виникають пружні деформації деталей механізму подач верстату, що призводить до накопичення потенціальної енергії, яка в свою чергу, при виході інструмента із тіла заготовки може спричинити значне збільшення подачі, і як результат, збільшення крутного моменту, що може бути причиною поломки свердл. Через те, в процесі свердління наскрізних отворів величину подачі рекомендують встановлювати на 20…25%, а в деяких випадках – у навіть, у 2 рази меншу по відношенню до подачі, яка призначається при свердлінні глухих отворів $S_г$.

Таке зменшення подачі на всій глибині отвору призводить до збільшення шляху різання, підвищення трудомісткості операцій та інтенсивності зношування свердл і в кінцевому результаті до зниження ефективності обробки. З метою недопущення такого стану запропоновано регулювати подачу тільки на етапах врізання та виходу інструменту із тіла оброблюваної заготовки, залишаючи на етапі усталеного процесу різання подачу $S_г$.

Тому отримання залежностей для визначення складових ефективності при використанні запропонованих авторами технологічних рішень на основі зменшення основного часу є актуальним при вирішенні даної проблеми.

В результаті проведених досліджень встановлено, що в залежності від діаметра свердла характер зміни подачі може бути класифікований на чотири види:

- подача на етапі врізання зростає від 0 до $S_г$, а на етапі усталеного процесу різання подача стабільна (визначається за певними технологічними обмеженнями) і дорівнює $S_г$ і на останньому етапі – виходу інструмента із тіла заготовки подача зменшується від $S_г$ до 0;

- подача на етапі врізання усталеного руху – стабільна і дорівнює S_z, яка визначена з умови міцності свердла на поздовжній згин, а на етапі виходу свердла з тіла заготовки різко збільшується (переважно для свердл малих діаметрів);
- подача на всіх трьох етапах врізання, усталеного процесу різання і виходу інструменту з тіла заготовки постійна і дорівнює S_z;
- подача на етапах врізання і усталеного процесу різання стабільна і дорівнює S_z, а на етапі виходу інструменту із заготовки зменшується до $S_{\min}$.

Враховуючи вищеподані характери зміни подачі в процесі свердління наскрізних отворів виникає доцільність визначити економічний ефект для кожного із вищеподаних видів зміни подач.

УДК 667.64:678.026

ПОЛІМЕРНІ ПОКРИТТЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Воробйов П.О.
Херсонська державна морська академія

Водний транспорт експлуатується у широкому діапазоні температур, під впливом ультрафіолетового випромінювання, механічних навантажень, дії вологи. Тому, використання полімерних матеріалів для захисту поверхонь водного транспорту є актуальним, однак передбачає дотримання ряду підвищених вимог при їх застосуванні. Не зважаючи на високі показники адгезійної та корозійної стійкості, епоксидні композити мають обмежений інтервал робочих температур. Перспективним шляхом поліпшення теплофізичних властивостей є армування полімерної матриці волокнистими добавками. Перспективним є застосування органічних волокон – як відновлюваної та економічно доступної сировини, що здатні підвищувати енергію активації термічної деструкції [1-3].

Дослідження проводили з використанням епоксидного олігомеру ЕД-20, затвердженого поліетиленполіаміном (ПЕПА), та суміші дискретних волокон органічного походження у кількості 0,25–2,00 мас.ч. Для підвищення міжфазової адгезії волокна попередньо вводили як у смолу, так і в твердник, а композицію піддавали ультразвуковому диспергуванню. Для дослідження термічної стійкості розроблених матеріалів використовували термогравіметричний аналіз (ТГА) у діапазоні 293–873 К. Експериментально доведено, що введення дискретних волокон зміщує температуру початку втрати маси (T_0) у бік вищих значень температури, а саме від 605 К (за вмісту 0,25 мас.ч. до максимуму 624,0 К (за вмісту 0,75 мас.ч). При порівняння значення підвищення температури початку втрати маси розробленого композиту і з ненаповненою епоксидною матрицею (387 К) встановлено відхилення у сторону більших температур на 36 К, що свідчить про підвищення термостійкості. Кінцева температура деструкції становила 754 К для композитів з оптимальним вмістом волокнистого наповнювача. При цьому відносна втрата маси полімерних матеріалів знижувалась до 63–65 % порівняно з вихідною матрицею (80 %).

Висновки. Встановлено оптимальним склад полімерного матеріалу, який становить: 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20, 0,75 мас.ч. суміші дискретних волокон органічного походження, 10 мас.ч. твердника поліетиленполіаміну, що забезпечує підвищення температури початку деструкції з 587 К до 624 К. Введення органічних волокон дозволяє розширити діапазон робочих температур, знизити швидкість

втрати маси та покращити термостійкість захисних покриттів без істотного збільшення їхньої вартості. Розроблені матеріали можуть бути впроваджені у виробництво тепло- та вогнестійких полімерних матеріалів для морського і річкового транспорту, підвищуючи надійність та довговічність суднових конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

3. Wang X., Hu Y., Song L., Xing WY., Lu HD., Lv P., et al. Flame retardancy and thermal degradation mechanism of epoxy reisn composites based on a DOPO substituted organophosphorus oligomer. Polymer. 2010, 51:2435-45.

4. Fan J., & Njuguna J. An introduction to lightweight composite materials and their use in transport structures. Lightweight Composite Structures in Transport. 2016, 3–34.

5. Davies M., Wang Y., Wong P. Polymer composites in fire. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2006, 37(8), 1131–1141.

УДК 62-231:621.9.04

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНА ВЕРСТАТА З ДВОХКООРДИНАТНИМ ПАРАЛЕЛЬНИМ МЕХАНІЗМОМ

Кириченко А.М., Амірсеідов М.Е.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Відомі компоновка і кінематична структура верстата з двохкоординатним паралельним механізмом (рис. 1), для якої визначено кінематичні залежності [1] та характеристики просторової жорсткості [2]. Актуальною задачею є оцінка силових характеристик приводів верстата, необхідних для виконання заданих траєкторій руху робочого органа з необхідними швидкостями та прискореннями, визначення впливу параметрів траєкторії на силові показники приводів.

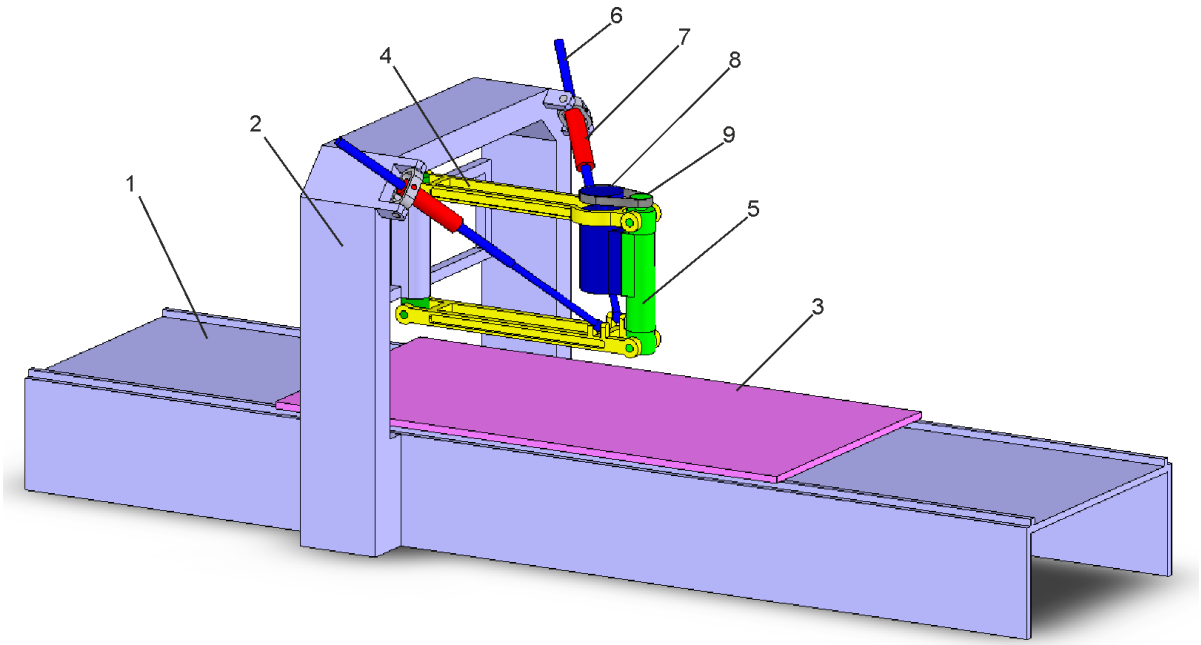


Рисунок 1 – Компоновка верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури: 1 – станина, 2 – стійка; 3 – стіл, 4 – паралелограмно-поворотний механізм, 5 – шпиндель; 6 – штанга, 7 – привод, 8 – електродвигун, 9 – пасова передача

Для оцінки необхідної потужності приводів верстата і відповідності розрахункових траєкторій руху робочого органа виконане моделювання за допомогою пакету SOLIDWORKS Motion: за заданими законами кругових та лінійних переміщень побудовані траєкторії руху виконавчого органу і графіки залежностей величин переміщень, швидкостей, зусиль та потужностей приводів від часу (рис. 2).

Для заданих масогабаритних показників верстата та швидкості руху робочого органа 1 м/с (без врахування прискорення для розгону/гальмування) максимальне зусилля приводу складає 1400 Н, потужність – 0,75 кВт для виконання кругової траєкторії радіусом R=125 мм, для траєкторії R=500 мм необхідне зусилля 500 Н та потужність 0,5 кВт. Під час виконання лінійних траєкторій у різних напрямках зі швидкістю 1 м/с максимальне зусилля приводів штанг складає близько 600 Н, приводу столу – близько 200 Н, потужність не перевищує 500 В. Таким чином, найбільше навантаження на приводи верстата виникає під час виконання кутових траєкторій з малими радіусами, тоді як лінійні траєкторії потребують відносно малої потужності приводів.

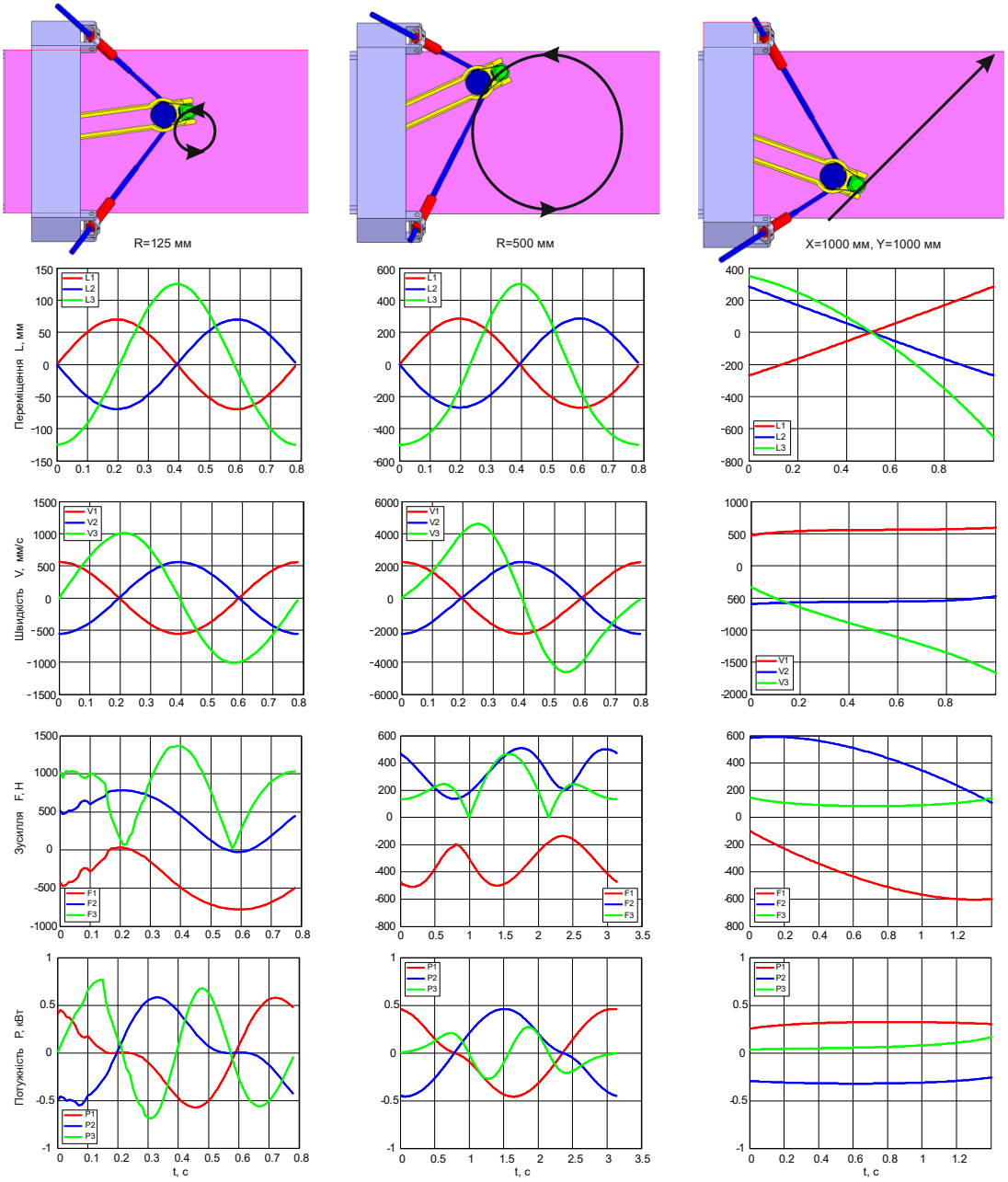


Рисунок 2 – Результати моделювання руху робочого органа верстата

Висновки. Виконане моделювання руху верстата дозволило підтвердити відповідність кінематичних залежностей та оцінити необхідні характеристики приводів верстата. Встановлено, що необхідні зусилля та потужності приводів для кутових траєкторій більші, ніж для лінійних, та збільшуються із зменшенням радіуса кутової траєкторії. Подальші дослідження слід скерувати у напрямку моделювання динамічних характеристик верстата, забезпечення точності відтворення заданої траєкторії з врахуванням сил різання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кириченко А. М., Ленченко Л. В., Заїка А. М. Аналіз кінематики верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури «біпод». Вісник Тернопільського державного технічного університету. Тернопіль : ТДТУ, 2008. № 2. С. 74-81.
2. Кириченко А.М., Кропівний О.О., Амірсеідов М.Е. Просторова жорсткість робочого органа верстата з комбінованою кінематикою. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.II. С. 127-134. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.127-134.