

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ

ХІІ Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 22–25 квітня 2025 р.)

Суми
Сумський державний університет
2025

УДК 001.891(063)
С91

Редакційна колегія:

канд. техн. наук, професор О. Г. Гусак;
д-р техн. наук, професор І. В. Павленко.

Члени редакційної колегії:

д-р техн. наук, професор Л. Д. Пляцук; д-р техн. наук, професор
В. І. Склабінський; д-р техн. наук, професор О. О. Ляпоценко;
д-р техн. наук, професор М. І. Сотник; д-р техн. наук, професор
О. П. Гапонова; д-р техн. наук, професор Залого В. О.; д-р техн.
наук, професор В. О. Іванов; д-р техн. наук, доцент
Р. О. Острога; канд. техн. наук, доцент С. М. Ванєєв; канд. техн.
наук, доцент А. В. Загорулько; канд. техн. наук, доцент
А. В. Євтухов; канд. хім. наук, доцент Л. М. Пономарьова.

Технічний секретар: аспірант О. А. Куліков.

Сучасні технології у промисловому виробництві :
матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції
(м. Суми, 22–25 квітня 2025 р.) / редкол.: О. Г. Гусак,
І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет,
2025. – 183 с.

УДК 001.891(063)

До матеріалів конференції увійшли тези доповідей, в
яких наведені результати наукових досліджень представників
закладів вищої освіти України та країн Європейського Союзу.
Матеріали конференції будуть корисними для науковців,
викладачів, аспірантів і студентів та інженерів усіх галузей
виробництва.

© Сумський державний університет, 2025

Секції конференції:

1. Технології машинобудування.
Оброблення матеріалів у машинобудуванні.
2. Технологія конструкційних матеріалів
і матеріалознавство.
3. Динаміка і міцність, комп'ютерна механіка.
4. Екологія і охорона навколишнього середовища.
5. Хімічні технології та інженерія.
6. Хімічні науки.
7. Гідравлічні машини і гідропневоагрегати.
Прикладна гідоаеромеханіка.
8. Енергетичне машинобудування.
Технічна теплофізика.

Адреса Сумського державного університету:
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007, Україна.

Телефон для довідок: +38 (0542) 33-10-24 – деканат факультету
технічних систем та енергоефективних технологій СумДУ.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»	13
<i>Орлов Р. О., Косяненко С. Д., Кушніров П. В.</i> Багатоступінчаста схема зняття припуску торцевою фрезою	14
<i>Гриценко О. О., Євтухов А. В.</i> Топологічна оптимізація прихвата верстатного пристрою	15
<i>Каплун В. В., Євтухов А. В.</i> Притиральна головка для оброблення конічних поверхонь	16
<i>Кулешов М. М., Євтухов А. В.</i> Імітаційна модель-тренажер робототехнічного комплексу для дорнування отворів	18
<i>Метенко О. М., Євтухов А. В.</i> Функціональне призначення та класифікація конвеєрів	19
<i>Мірошніченко О. Р., Євтухов А. В.</i> Імітаційна модель вібраційного авантажувального пристрою з круговим бункером	20
<i>Мовчан Р. В., Євтухов А. В.</i> Пристрій для алмазного вирівнювання плоских поверхонь	22
<i>Молокоєдов В. С., Євтухов А. В.</i> Про призначення та вимоги до залізничних рейок	23
<i>Невальонний О. Ю., Євтухов А. В.</i> Статичний аналіз конструкції самоцентрувальних лещат	24
<i>Соколов О. С., Іванов В. О.</i> Вибір протоколу комунікації між цифровим двійником та фрезерним верстатом	26
<i>Денисюк В. Ю.</i> Методика визначення мікрогеометрії поверхні деталей для конкретної функціональної властивості	27
<i>Мараховський М. Д., Проскурня С. І.</i> Підвищення якості механічного оброблення тонкостінних деталей, виготовлених із порошкових сталей	29
<i>Фадєєв В. М., Довгополов А. Ю., Лупирь В. В.</i> Розробка конструкції електродетонатора швидкої дії для підпалу бойового заряду	30
<i>Москал Д., Мартан Й., Саприкіна Е. В., Алексенко Б. О.</i> Перспективи використання фемтосекундних лазерних технологій для формування лазерно-індукованих структур на поверхні сталі	31
<i>Андрусишин В. К., Іванов В. О.</i> Огляд сучасних кінематичних розв'язувачів для колаборативних роботів	32
<i>Bezkhlibnyi D., Pukhalska G.</i> Infiltration process in selective laser sintering	33

<i>Мажуга М. Є., Швець С. В.</i> Моделювання процесу точіння в середовищі «Deform 3D»	34
<i>Плис В. С., Дегтярьов І. М.</i> Аналіз особливостей оброблення спрямовувальних апаратів, виготовлених із різних матеріалів	35
<i>Швець Р. С., Дегтярьов І. М.</i> Використання верстатних пристроїв зі змінними налагодженнями із застосуванням штифтових конічних з'єднань	36
<i>Пастернак С.</i> Точіння з попереднім нагрівом: Підвищення ефективності оброблення сплаву Inconel 718	37
<i>Юсупов Д. А., Євтухов А. В.</i> Дослідження скінченно-елементних моделей типових опорних елементів верстатних пристроїв із застосуванням модального аналізу	39
<i>Амелін М. М., Іванов В. О.</i> Важливість моделювання технологічних процесів у сучасному виробництві	40
<i>Леценко С. В., Іванов В. О.</i> Впровадження сучасних технологій для оптимізації промислового виробництва	41
<i>Левченко А. В., Козлова О. Б., Тришин П. Р.</i> Вплив швидкості різання на інтенсивність коливань різця-осцилятора при неперервному точінні	43
<i>Бехало С. М., Некрасов С. С.</i> Дослідження можливих напрямів підвищення ресурсу борошномельних вальців	45
СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»	47
<i>Тряпкіна Є. С., Міхєєв Б. М., Дегула А. І.</i> Моделювання процесів оброблення тиском	48
<i>Гриб В. В., Ситніков В. О., Дегула А. І.</i> Фізико-хімічні умови процесу дифузійної металізації	50
<i>Ситніков В. О., Дегула А. І.</i> Аналіз перспективних методів нанесення захисних покриттів	52
<i>Білоус О. А., Говорун Т. П.</i> Кінетика дифузійних процесів вуглецю та карбідоутворюючих елементів при короткочасному нестационарному нагріві	53
<i>Гапонова О. П., Торгачов Д. В., Смоленко С. В.</i> До питання застосування методу електроіскрового легування для медичних імплантатів	55
<i>Охріменко В. О., Тарельник Н. В.</i> Інноваційний метод нітроцементації на основі електроіскрового легування	57

<i>Гапонова О. П., Лапоног Г. П., Ходаков О. О.</i> Дослідження азотовмісних покриттів, отриманих методом електроіскрового легування, на сталій підкладці	58
<i>Марченко С. В., Марченко К. С.</i> Полімерні плівки: Види, способи отримання та модифікування	59
<i>Молнар Ю. О., Ханюков К. С., Варакін В. О.</i> Наноструктуровані покриття різних систем елементів для підвищення властивостей матеріалів	61
<i>Пахненко Д. В., Ханюков К. С., Варакін В. О., Говорун Т. П.</i> Процеси структуроутворення покриттів на основі ZrN в умовах магнетронного розпилення	63
<i>Піменов М. О., Дудка В. О., Кайдаш Д. В., Кононенко Я. А., Погребова І. С.</i> Склад та структура захисних покриттів на Сталі 45 після двостадійного хіміко-термічного оброблення	65
<i>Назаренко І. В., Лоскутова Т. В., Харченко Н. А., Дацюк О. Е.</i> Підвищення жаростійкості карбонільного нікелю	66
<i>Смірнов П. С., Гальченко І. Г., Павленко В. В.</i> Переваги застосування магнітного формування у ливарному виробництві	68
СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ, КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»	69
<i>Жигилій Д. О., Шульга Б. Є.</i> Раціональна конструкція Т-подібного з'єднання, виконаного з шаруватого вуглепластика	70
<i>Жигилій Д. О., Бельський І. С.</i> Дослідження міцності сендвічевої композитної плити на простріль	71
<i>Загорулько А. В., Ванжула А. Ю.</i> Числовий аналіз динамічних характеристик запірно-врівноважуючого пристрою відцентрового насоса	72
<i>Позовний О. О., Литвиненко О. О.</i> Аналіз напружено-деформованого стану вузлів рами причепа агротехніки та його удосконалення за допомогою числових методів	73
<i>Роцупкін О. В., Павленко І. В.</i> Розроблення експертної системи для діагностування технічного стану роторних машин	74
<i>Харченко Є. В., Біловус А. Р.</i> Розрахунок поперечних коливань бурової вежі із застосуванням континуально-дискретних математичних моделей	75
<i>Овчаренко М. С., Папченко А. А., Павленко І. В.</i> Розроблення прогресивної технології виготовлення основних частин вібраційних гіроскопів	76

<i>Титаренко І. В., Павленко І. В.</i> Застосуванням сучасних інформаційних технологій для створення віртуальної моделі рельєфу місцевості Зеленогайського археологічного комплексу	77
<i>Павленко В. І., Зиміна Л. О., Гончаренко А. А.</i> Створення ефективної рекомендаційної системи за допомогою Apache Spark та Neo4j	79
СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»	81
<i>Кузьоменська К. В., Аблєєва І. Ю.</i> Технологічні підходи до очищення ґрунтів, забруднених вибуховими речовинами	82
<i>Гришко А. О., Аблєєва І. Ю.</i> Методи очищення ґрунтів від нафтового забруднення	84
<i>Кудлай А. Ю., Пляцук Л. Д., Батальцев Є. В.</i> Мембранні біореактори у водоочищенні: Переваги та недоліки	86
<i>Гурець І. М., Пляцук Л. Д.</i> Дослідження стану вод у зоні впливу Сумської ТЕЦ	87
<i>Залєвська І. В., Гурець Л. Л.</i> Вплив золошлакових відходів Сумської ТЕЦ на навколишнє середовище	88
<i>Карташева Д. М., Трунова І. О.</i> Мікропластик: Невидима загроза для екосистем і здоров'я людини	89
<i>Красуля Б. О.</i> Інноваційні методи озеленення житлових будинків	90
<i>Сумцова К. С., Яхненко О. М.</i> Вплив війни на ґрунти України	91
<i>Парамонов А. В., Аблєєва І. Ю.</i> Вплив технології піролізу на екологічну безпеку дигестату	92
<i>Сіпко І. О., Аблєєва І. Ю.</i> Механізми використання дигестату та біосурфактантів під час біоремедіації ґрунтів	94
<i>Тімченко А. В., Пляцук Л. Д., Батальцев Є. В.</i> Мікрководорості як інструмент фіксації CO ₂ : Перспективи та виклики	96
<i>Фалько В. В., Птащенко С. Ю.</i> Екологічні аспекти поводження з медичними відходами	97
<i>Кліменко А. М., Аблєєва І. Ю.</i> Методи рекультивації ґрунтів після воєнних дій	99
<i>Ahmed I. H., Plyatsuk L. D., Bataltsev Y. V.</i> Technology of sulfur reduction in petroleum refinery flare disposal using waste metals	100
<i>Кузьміна Т., Щербаченко В., Бабко Р.</i> Шляхи підвищення стресостійкості річкових екосистем	102

<i>Забара І. І., Пляцук Л. Д., Батальцев Є. В.</i> Метаболіти бактерій активного мулу та їх функціональна активність	104
СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»	106
<i>Нічволодін К. В.</i> Залежність кінцевої температури гранул мінеральних добрив від їх розміру в процесі охолодження у грануляційній башті	107
<i>Криводуб Д. Г., Михайловський Я. Е.</i> Гідродинамічні особливості фракціонування зернистих матеріалів у гідрокласифікаторах з висхідним потоком	108
<i>Кірний В. Л., Юхименко М. П.</i> Дослідження властивостей залізного купоросу для моделювання процесу сушіння в апараті киплячого шару	109
<i>Буділовський О. В., Михайловський Я. Е.</i> Оптимізація процесів хімічного очищення природного газу в насадкових абсорберах	110
<i>Корнієнко І. М., Юхименко М. П.</i> Огляд методик аналітичного визначення середнього діаметра частинок полідисперсної суміші	111
<i>Середа Б. О., Юхименко М. П.</i> Аналітичне визначення швидкості витання твердих частинок при їх пневмотранспортуванні	112
<i>Цахаєв І. С., Юхименко М. П.</i> Огляд методик аналітичного визначення швидкості початку псевдозрідження	113
<i>Ляпощенко О. О., Скиданенко М. С., Бондар Д. І., Єсипчук С. С., Кравець В. Г.</i> Режимно-технологічна та апаратурно-конструктивна оптимізація систем сепарації	114
<i>Яковенко Д. В.</i> Аналіз умов регенерації гліколів	115
<i>Котов Ю. В.</i> Вплив температури та тиску на появу гідратів	116
<i>Лаврик А. І.</i> Основні методи очищення газової суміші від сірководню	117
<i>Гаджієв М. М.</i> Вимоги до якості азотних і комплексних добрив	118
<i>Піддубний В. Є., Щома Я. А., Івченко С. О., Скиданенко М. С.</i> Механічна активація фосфоритного борошна в активаторах ударної дії	119
<i>Каруцький А. Ю.</i> Робота вібраційних грануляторів у грануляційних баштах: Чинники, що впливають на процес диспергації азотних добрив	120
<i>Табачун М. О., Маринченко Д. Д., Болтушенко В. Ю., Скиданенко М. С.</i> Формування крапель під впливом вимушених коливань	121

<i>Мищенко Д. І., Пирогов І. С.</i> Технологічні аспекти контролю гранулометричного складу при виробництві складнозмішаних добрив	122
<i>Чміленко Б. С.</i> Гідродинамічні аспекти формування гранул з розплавів	123
<i>Острога Д. В., Кушніренко Я. В.</i> Закономірності винесення дрібнодисперсних частинок у псевдозрідженому шарі	124
СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»	125
<i>Чудеса К. В., Пишеничний Р. М.</i> Комплексне дослідження наночастинок оксидів металів методами просвічуваної, скануючої електронної та атомно-силової мікроскопії	126
<i>Крупська А. М., Большаніна С. Б.</i> Дослідження фізико-хімічних властивостей ґрунту, що зазнав впливу бойових дій	128
<i>Запорожець Р. О., Пономарьова Л. М.</i> Дистиляційні методи кількісного аналізу азотних мінеральних добрив	129
<i>Мироненко Д. В., Пономарьова Л. М.</i> Аналіз показників якості пива відповідно до ДСТУ	130
<i>Вініченко А. І., Пономарьова Л. М.</i> Методи аналізу лікарських форм з глюкозою	132
<i>Пятишкіна П. Д., Большаніна С. Б.</i> Розроблення біосорбенту для очищення води	133
<i>Радченко О. І., Пономарьова Л. М.</i> Електроспінінг двокомпонентних мембран із полімолочної кислоти та хітозану	135
<i>Ольховик А. В., Диченко Т. В.</i> Вплив сикативів на сушіння і твердість алкідних емалей	137
<i>Бульченко Р. М., Пономарьова Л. М.</i> Паливно-мастильні матеріали та методи їх аналізу	138
<i>Радченко А. Е., Большаніна С. Б.</i> Вивчення кінетики десорбції іонів з поверхні наноасиченого біоматеріалу	139
<i>Шокаленко О. В., Большаніна С. Б.</i> Мебранний електроліз розчинів, забруднених іонами кадмію	141

СЕКЦІЯ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ. ПРИКЛАДНА ГІДОАЕРОМЕХАНІКА»	143
<i>Кулик М. Р., Кулініч С. П.</i> Гідравлічні приводи з пропорційним керуванням	144
<i>Сукрут С. В., Ратушний О. В.</i> Підвищення технічного рівня відцентрового насоса низької швидкохідності шляхом використання ущільнюючих елементів вихрового типу	145
<i>Бондаренко К. М., Ратушний О. В.</i> Інноваційні підходи до підвищення енергоефективності насосів динамічного типу для промислового виробництва	146
<i>Yehorov Y., Sotnyk M.</i> Methodology for determining the installed capacity of a cogeneration unit and development of related measures for its implementation	147
<i>Панченко В. О., Сисенко В. В., Походня Б. Є.</i> Гідродинамічне ущільнення відцентрового насоса	149
<i>Сапожніков С. В., Григоренко Є. А.</i> Чого чекати від впровадження освітньої програми «енергетичний інжиніринг та аудит»?	150
<i>Куліков О. А., Ратушний О. В., Івченко О. В.</i> Комплексна оцінка контрроторного насоса	151
<i>Луговий О. Л., Гусак О. Г.</i> Радіальне зусилля в комбінованому відводі	152
<i>Муштай М. В., Кондусь В. Ю.</i> Розроблення самоочищувального механізму для вільновихрових насосів	154
<i>Кутас С. С., Сотник М. І.</i> Підвищення енергоефективності насосів типу Д у мережах водозабезпечення шляхом удосконалення робочого процесу	155
<i>Ратушний О. В.</i> Гіпотеза організації робочого процесу відцентрової контрроторної машини	156
<i>Харченко Є. В., Бутринський Д. І.</i> Взаємодія потоку неньютонівської промивальної рідини із рухомими стінками коаксіального кільцевого каналу	157
<i>Цибульняк С. Ю., Гусак О. Г.</i> Покращення всмоктувальної здатності та кавітаційних якостей відцентрових насосів шляхом попереднього закручування потоку на вході в робоче колесо	158

СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.**ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА» 160**

<i>Ванєєв С. М., Мірошниченко О. І., Мірошниченко Д. В., Бага Т. С.</i> Дослідження впливу наявності та розмірів корпусу навколо ротора на характеристики струминно-реактивної турбіни	161
<i>Сітало В. С., Ванєєв С. М.</i> Дослідження впливу зазорів проточної частини вихрового компресора на його характеристики за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX	163
<i>Мелейчук О. С., Ванєєв С. М.</i> Експериментальні та чисельне дослідження струминно-реактивної турбіни каналного типу	165
<i>Лавриненко А. О., Бага Т. С., Бага В. М.</i> Моделювання енергосистем в Україні	167
<i>Салімов Є. О., Садовський І. Д., Бага В. М.</i> Чисельні дослідження сопел із різними геометричними параметрами	168
<i>Баран С. В., Стебельська У. Ю., Мелейчук С. С., Баран В. В.</i> Ефективність використання апаратів повітряного охолодження в системах компресорних станцій	169
<i>Ванєєв С. М., Герзанич М. М., Дмитрієв В. О., Заклунний Б. А.</i> Струминно-реактивна розширювальна машина для турбогенераторів газорозподільних станцій	170
<i>Ванєєв С. М., Германюк В. О., Євтушенко С. І.</i> Вплив властивостей робочого тіла на параметри вихрового компресора	171
<i>Бойко А. Д., Бага Т. С.</i> Сучасний досвід моделювання енергосистем	172
<i>Чех О. Ю., Мерзляков Ю. С.</i> Математичне моделювання фізичних процесів у рідинно-парових струминних апаратах	173
<i>Карцов А. С., Мерзляков Ю. С.</i> Вплив конструкції струминних ежекторів на робочий процес у тепловикористовуючих установках	174
<i>Мерзляков Ю. С., Тютюнник К. В., Назаренко М. В.</i> Експериментальна установка для дослідження процесів в рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу	175
<i>Шарапов С. О., Вербицький А. Р., Щербак Я. В.</i> Вибір режимних параметрів теплоелектрогенеруючих агрегатів на базі рідинно-парових струминних апаратів	176
<i>Шарапов С. О., Вербицький, А. Р., Щипенко О. О.</i> Теплонасосні установки для систем тепло- та електрозабезпечення індивідуальних споживачів	177

<i>Шарапов С. О., Євтушенко С. О., Вербицький А. Р.</i> Ефективність однокорпусних випарних установок на базі рідинно-парових струминних апаратів	178
<i>Шарапов С. О., Євтушенко С. О.</i> Експериментальне дослідження рідинно-парового струминного апарату з профільованими камерами змішування	179
<i>Антоненко С. С., Яхненко Б. О.</i> Уточнення напівемпіричної методики визначення питомої опалювальної характеристики будівель	180
<i>Ванєєв С. М., Іванов Г. О.</i> Когенераційна установка на базі вихрової турбіни та її енергетична ефективність	182

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»

БАГАТОСТУПІНЧАСТА СХЕМА ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТОРЦЕВОЮ ФРЕЗОЮ

*Орлов Р. О., аспірант; Косяненко С. Д., студент гр. ІМ-11/2тм;
Кушніров П. В., доцент каф. ТМВІ, Сумський державний університет,
м. Суми*

Торцеві фрези, що застосовуються для обробки плоских поверхонь заготовок, можуть мати одну або декілька ріжучих східчастих ступенів. Збільшення кількості ступенів здійснюють при конструюванні фрези для забезпечення можливості зняття підвищених припусків. Наприклад, торцева фреза діаметром 315 мм, що оснащена композитом 10 та використовується для фрезерування торців плунжерів на АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», містить 8 ступенів. При фрезеруванні такою фрезою формується ступінчастий сходиноподібний розподіл припуску на обробку: загальна глибина різання фрезою дорівнюватиме сумі глибин різання кожним ступенем.

На рисунку 1 наведено 3D-модель триступінчастої торцевої фрези та схема зняття припуску цією фрезою. Для триступінчастої фрези загальна глибина різання t_{Σ} дорівнює сумі глибин різання кожним з трьох ступенів:

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3$$

Рисунок 1 –Триступінчаста торцева фреза та схема зняття припуску триступінчастою торцевою фрезою

Для підвищення якості обробки ріжучі вставки чистового першого ступеня (де найменший діаметр фрезерування) налаштовують у осьовому напрямку, чим мінімізується торцеве биття ріжучих кромки, та, як результат, забезпечується краща шорсткість обробленої поверхні.

Ріжучі вставки решти чорнових ступенів налаштовуються в радіальному напрямку. Це дозволяє зменшити радіальне биття ріжучих кромки та забезпечує їх рівномірне зношування. Також це дає збільшення довговічності різальних вставок цих ступенів, та, як результат, підвищення періоду працездатності всієї торцевої фрези загалом.

ТОПОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИХВАТА ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

*Гриценко О. О., студент гр. ТМ.м-31; Євтухов А. В., доцент, каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

В рамках підготовки кваліфікаційної роботи магістра було спроектовано спеціальну конструкцію верстатного пристрою (ВП) для базування та закріплення заготовки вала-шестерні на шпонково-фрезерній операції. Згідно з прийнятою схемою закріплення заготовка встановлюється своїми циліндричними поверхнями в опорних призмах з упором в плоский торець. Закріплення заготовки здійснюється прихватами важільного типу. ВП оснащений механізованим приводом у вигляді пневматичного циліндра подвійної дії.

В рамках дослідження було реалізовано структурно-параметричну оптимізацію конструкції ВП та його окремих компонентів з використанням методів статичного аналізу та топологічної оптимізації. Скінченно-елементна модель системи «ВП-заготовка» була спроектована в системі SolidWorks. Статичний аналіз та топологічна оптимізація моделі проводились відповідно в модулях Static Structural та Structural Optimization Ansys Workbench. В результаті попереднього статичного аналізу скінченно-елементної моделі первинної конструкції прихвата (див. рис. 1, а) було встановлено, що максимальний рівень внутрішніх напружень в його матеріалі становить 11 МПа, що говорить про запас міцності у 22,7 рази (якщо за допустимий рівень напружень брати межу текучості середньо-вуглецевої конструкційної сталі 250 МПа). Водночас було встановлено, що маса прихвата первинної конструкції становить 0,104 кг.

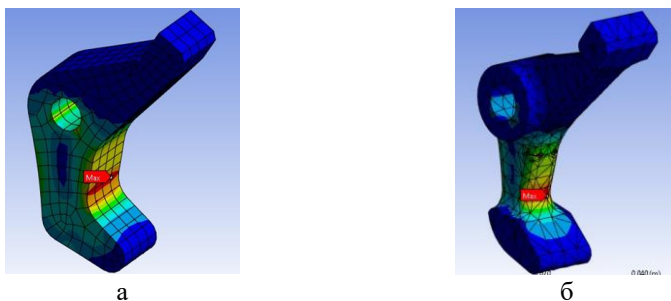


Рисунок 1 – Конструкції прихвата: а – первинна, б – оптимізована

Топологічна оптимізація моделі дозволила одержати епору «псевдощільності», аналіз якої дозволив побудувати конструкцію прихвата, що характеризується максимальним рівнем внутрішніх напружень у 40 МПа (див. рис. 1, б). Водночас маса оптимізованої конструкції прихвата знизилась до 0,060 кг.

ПРИТИРАЛЬНА ГОЛОВКА ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Капун В. В., студент гр. ТМ.м-31; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми

В рамках підготовки кваліфікаційної роботи магістра для оброблення конічної поверхні заготовки «корпусу» сумісним притиранням за методом об'ємного контакту було запропоновано використовувати притиральну головку (ПГ) спеціальної конструкції.

Під час притирання методом об'ємного контакту заготовка та інструмент (контрольна деталь) як головний реалізують циклічний зворотно-обертальний рух, як колову подачу – кутове зміщення при кожному циклі головного руху, та допоміжний рух – періодичний відрив поверхонь притирання. Головний рух і колова подача є робочими рухами.

Схема сил, які виникають під час роботи ПГ, установленної в шпинделі притирального верстата, наведена на рис. 1.

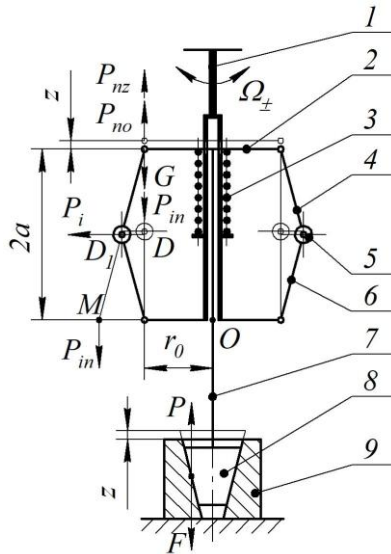


Рисунок 1 – Схема сил, діючих в системі притиральної головки:
1 – шпиндель (корпус ПГ); 2 – рухома траверса; 3 – пружина; 4 і 6 – тяги;
5 – вантаж; 7 – шток; 8 – перша притиральна деталь або притир;
9 – друга притиральна деталь або притир

Перед початком роботи верстата притиральна пробка 8 розміщується на відстані z від нерухомого притирального корпусу 9. Вага G компонентів

ПГ (штока 7, вантажів 5, притиральної пробки 8) підвішених до рухомої траверси 2 врівноважуються силою стиску пружини $P_{по} = G$. При роботі ПГ під дією відцентрової сили вантажів $P_{ін}$, тяги (4, 6) і траверси 2, пружина 3 стискання деформується. Для зменшення сили інерції ПГ початковий радіус r_0 необхідно прийняти якомога меншим. При обертанні ПГ зведена сила $P_{із}$ долає силу стиснення попередньо регульованої пружини $P_{пз}$ і через шток притискає притиральну пробку до отвору корпусу силою $P_{ос}$.

В результаті аналізу наведеної на рис. 1 динамічної моделі можна стверджувати, що залежно від кутової швидкості Ω обертання ПГ притиснення оброблювальних поверхонь можливо за умови

$$m\Omega^2 r_0 k_n > cz,$$

де k_n – коефіцієнт, що залежить від довжини тяги a , початкового радіуса обертання відцентрових вантажів r_0 та осьового руху штока z ПГ, c – коефіцієнт жорсткості пружини.

Піднімання пробки відбувається за умови

$$m\Omega^2 r_0 k_n < cz - F_{co},$$

де $F_{ос}$ – осьова сила тертя.

Таким чином, притирання конічних поверхонь відбувається за умови, коли кутові швидкості робочого руху становлять:

- для притиснення притиральних поверхонь

$$\Omega > \sqrt{\frac{cz}{mr_0 k_n}},$$

- для відриву притиральних поверхонь

$$\Omega < \sqrt{\frac{cz}{mr_0 k_n}}.$$

Із збільшенням руху штока кутова швидкість обертання, що відповідає моменту початку відриву і притиснення притиральної поверхні, збільшується. Тому для підвищення продуктивності при проектуванні конструкції ПГ необхідно хід рухомого штока прийняти якомога меншим.

При видаленні металу із притиральних поверхонь осьова подача пробки реалізується автоматично. Це можливо тому, що поступальний рух штока обмежений притиральною поверхнею нерухомого корпусу встановленого перед початком притирання в потрібному положенні відносно притиральної поверхні пробки. Із зміною напрямку робочого руху швидкість обертання ПГ і зведеної сили знижуються до нуля. Пружина відкидає траверсу і притиральні поверхні розтискаються.

Притирання конічних поверхонь деталей пробкових кранів на верстаті СК 4000 забезпечує 100% прилеглисть за фарбою, шорсткість поверхні кожної деталі становить 0,02–0,16 мкм за критерієм R_a , а точність різниці кутів конусів отворів пробки і корпусу – до 10".

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ-ТРЕНАЖЕР РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОРНУВАННЯ ОТВОРІВ

*Кулешов М. М., студент гр. ТМ.м-41; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Робототехнічний комплекс (РТК) для дорнування отворів у корпусах газових запальничок ЗГУ-71-1 використовується як лабораторний стенд для дослідження будови та принципу дії окремих функціональних компонентів та комплексу загалом в рамках вивчення обов'язкової дисципліни «Автоматизація виробничих процесів» ОП «Технології машинобудування» за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

Враховуючи актуальність дистанційних технологій навчання в рамках запланованого дослідження передбачено розроблення імітаційної моделі-тренажера РТК, що характеризується наочністю та інтерактивністю, що у свою чергу дозволить підвищити ефективність здобуття теоретичних знань та практичних навичок здобувачами вищої освіти.

Для побудови імітаційної моделі-тренажера РТК на першому етапі роботи планується розроблення геометричних моделей його окремих функціональних компонентів та їх складання з використанням САД-системи SolidWorks.

Згідно зі специфікацією до складу РТК входять такі компоненти:

- 1) вібраційний завантажувальний пристрій з круговим бункером (призначений для орієнтації та транспортування деталей неперервним потоком);
- 2) похилий лоток (призначений для транспортування деталей в приймальну позицію робота-маніпулятора);
- 3) робот-маніпулятор (призначений для транспортування деталей із приймальної позиції до позиції дорнування);
- 4) пристрій для дорнування (призначений для забезпечення певних технічних вимог, зокрема, точності розміру, точності форми та якості поверхні отвору в деталі).

Для розрахунку моделі та прогнозування експлуатаційних характеристик РТК планується використати модуль Motion Analysis SolidWorks. Для точного моделювання та аналізу рухів оброблюваних деталей та функціональних компонентів РТК модуль Motion Analysis враховує ефекти та характеристики сил, гравітації, пружин, амортизаторів, тертя.

Для підвищення адекватності результатів розрахунку моделі в модулі Motion Analysis використовуються обмеження руху, властивості матеріалів, маса та контакт компонентів.

Розроблення імітаційної моделі-тренажера РТК, зокрема її геометричної моделі, може стати основою для використання AR, VR та MR-технологій, а оснащення реального РТК датчиками зворотного зв'язку – технологій цифрових двійників.

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ КОНВЕЄРІВ

*Метенко О. М., студент гр. ТМ.м-41; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Виробництва сьогодення нерозривно пов'язані із широким застосуванням автоматизованих та автоматичних систем, складовою яких виступають конвеєри, що відіграють немалозначну роль у переміщенні як готових виробів, так і заготовок по різних виробничим ділянкам різноманітних виробництв. Ці пристрої являють собою нині незамінним елементом у питанні транспортування матеріалів та вантажів, забезпечуючи високу швидкість та точність [1, 2].

Основною та головною функцією конвеєрів є, власне, транспортування сировини, матеріалів, готової продукції чи відходів; також є наступні функції: інтеграція процесів, таких як пакування чи сортування готової продукції, допомога у скороченні витрат на ручну працю. На великих підприємствах конвеєри оптимізують матеріальні потоки, зменшують витрати та підвищують продуктивність праці.

Класифікація конвеєрів включає в себе різноманітні пристрої, що поділяються: за типом приводу (механічні, електричні, гідравлічні, пневматичні), за конструкцією (гвинтові (шнекові); роликові: неприводні та приводні; стрічкові; стрічково-канатні; стрічково-ланцюгові; скребкові; вібраційні; пластинчасті та ін.), за типом переміщення (безперервні, переривчасті), а також за сферою використання (промислові, складські, спеціалізовані). Особливості кожного дозволяють адаптувати їх до різноманітних умов експлуатації, к от логістика чи металургічна промисловість.

Конвеєри сьогодення не лише підвищують безпеку, зменшуючи фізичне навантаження на працівників, а й сприяють сталому розвитку через енергоефективні моделі. Їх використання є вагомим вкладом у конкурентоспроможність продукції на світовому ринку та економії ресурсів у довгостроковій перспективі.

Список літератури

1. Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей ВНЗ. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.
2. Groover M. Automation production systems and computer-integrated manufacturing / Mikell P. Groover., 2015.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНОГО ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИБОРУ З КРУГОВИМ БУНКЕРОМ

Мірошніченко О. Р., студент гр. ТМ.м-31; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, Сумський державний університет, м. Суми

В рамках підготовки кваліфікаційної роботи магістра було спроектовано імітаційну модель вібраційного завантажувального пристрою (ВЗП) з круговим бункером, призначеного для орієнтації та транспортування заготовок безперервним потоком в умовах автоматичного виробництва.

Геометрична модель ВЗП була побудована з використанням САД-системи SolidWorks (див. рис. 1).

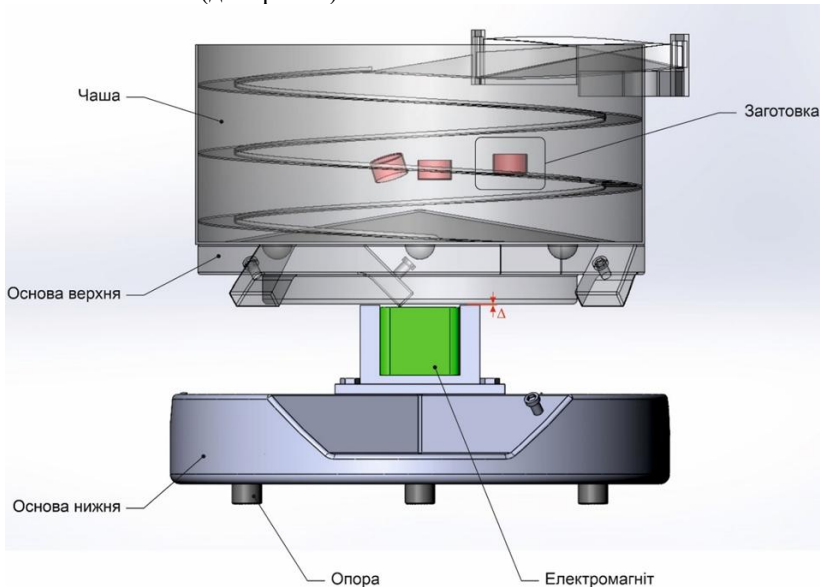


Рисунок 1 – Геометрична модель ВЗП

Основними функціональними елементами геометричної моделі ВЗП (див. рис. 1) є: чаша зі спіралеподібним лотком, основа верхня, основа нижня, електромагніт, віброопори.

Для дослідження кінематики та динаміки рухів компонентів ВЗП та заготовок був використаний розрахунковий модуль SolidWorks Motion Analysis. Для забезпечення адекватності імітаційної моделі ВЗП в модулі Motion Analysis були задані такі групи параметрів:

- контакти (Contact);
- гравітація (Gravity);
- двигун (Motor);
- пружини (Spring).

В групі «контакти» були задані загальні та статичні коефіцієнти тертя, параметри проникнення (Penetration), характерні для контакту заготовок, елементів чаші, верхньої та нижньої основ. Для групи контакту заготовок (матеріал – акрил) з елементами чаші (матеріал – алюмінієвий сплав), зокрема, були задані загальний коефіцієнт тертя – 0,5, статичний коефіцієнт тертя – 0,7, параметр проникнення (Penetration) – 0,0001 мм.

В групі «гравітація» були задані напрямок дії сили тяжіння – вертикально вниз та величина прискорення вільного падіння – 9806,65 мм/с² (призначено за замовчуванням).

Група параметрів «двигун» визначає характеристики роботи електромагніту, призначеного для формування осцилюючого руху чаші у вертикальному напрямку: тип двигуна – лінійний, напрямок руху чаші – вертикальний, рух – осцилюючий (коливальний), амплітуда коливання – 1 мм, частота коливань – 30 Гц, фазовий зсув – 0 град.

Одним із найважливіших функціональних компонентів ВЗП з круговим бункером є підвіски (пружини), які виконують роль опор для чаші з верхньою основою та багато в чому визначають кінематику та динаміку рухів заготовок та чаші. Конструктивно пружини мають плоску чи циліндричну форму та розміщуються під кутом 45 град. до горизонтальної площини. Саме завдяки нахилу пружин чаші окрім зворотно-поступального руху за вертикальною віссю додатково передається обертовий рух навколо вертикальної осі, що в результаті забезпечує рух транспортування заготовок спіралеподібним лотком. В геометричній моделі ВЗП (див. рис. 1) пружини не відображаються, але в групі «пружини» обов'язково задаються їх параметри та характеристики. Для розглянутої моделі були задані: коефіцієнт лінійності – 1 (лінійна характеристика), коефіцієнт жорсткості – 105 Н/мм, коефіцієнт демпфірування – $c = 500$ Н/(мм/с), розміри пружини: діаметр – 30 мм, кількість витків – 10, діаметр дроту – 6 мм.

Функціонал модуля Motion Analysis (SolidWorks) дозволяє проводити аналіз кінематики та динаміки рухів заготовок та компонентів імітаційної моделі ВЗП.

Результати роботи були впроваджені в навчальний процес, зокрема, в рамках виконання лабораторних досліджень за темою «Визначення режиму руху заготовок по лотку вібраційного бункера» (дисципліна «Автоматизація виробничих процесів»), ОП «Технології машинобудування», другий (магістерський) рівень вищої освіти), спрямованих на виявлення та аналіз взаємозв'язків між геометричними параметрами спіралеподібного лотка чаші, зокрема, кутом його підйому, кутом нахилу підвісок, характеристиками роботи електромагніту, та кінематикою і динамікою руху компонентів ВЗП та заготовок, режимів руху заготовок.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ АЛМАЗНОГО ВИРІВНЮВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

*Мовчан Р. В., студент гр. ТМ.м-31; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

В рамках підготовки кваліфікаційної роботи магістра було спроектовано спеціальні конструкції пристроїв для алмазного вирівнювання плоских торців заготовки «секції». Оздоблювальне оброблення плоских торців заготовки, метою якого є зниження рівня їх шорсткості, здійснюється пружним способом.

Пристрій (вирівнювач) установлюється в супорт токарного карусельного верстата та підводиться до контакту з оброблюваною поверхнею заготовки завдяки руху подачі, заданому у вертикальному напрямку. Водночас заготовка обертається навколо своєї центральної осі, розташованої вертикально. Для оброблення всієї площі поверхні вирівнювач додатково здійснює рух поперечної подачі, заданого в радіальному напрямку до осі обертання заготовки. Перший з оброблених торців «секції» має відкриту конструкцію, не обмежену буртами. Для оброблення такого торця спроектовано вирівнювач, ескіз якого наведений на рис. 1, а. Для оброблення торця, що має обмеження буртом з одного (внутрішнього) боку, спроектовано вирівнювач, ескіз якого наведений на рис. 1, б.

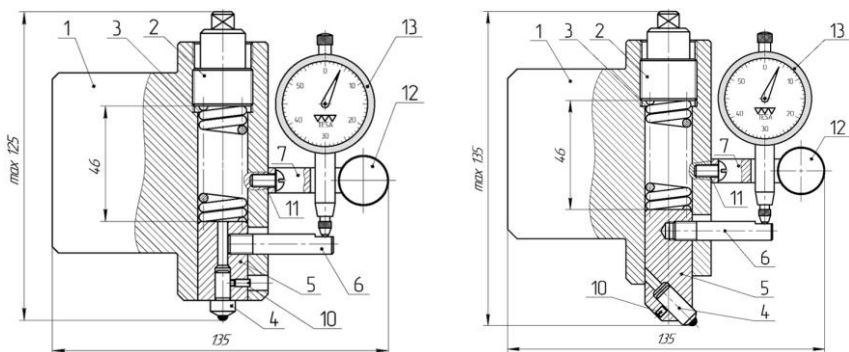


Рисунок 1 – Конструкції алмазних вирівнювачів

Конструкції вирівнювачів складаються із корпусу 1, пружини 3 і наконечника 4 із припаяним кристалом алмазу. Наконечник 4 установлюють в пробку 5, рух якої обмежений стрижнем 6. Сила, з якою наконечник з алмазом притискується до оброблювальної поверхні, задається стисканням пружини 3 за допомогою регульовального гвинта 2. Для точного визначення сили стискання пружини крок регульовального гвинта виконаний мінімальним. Вирівнювання відбувається при визначеній величині сили притиснення, яка установлюється за допомогою шкали мікроіндикатора 13.

ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИМОГИ ДО ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

*Молокоєдов В. С., аспірант гр. А-35/МБ; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Залізнична колія відіграє ключову роль у перевізному процесі, забезпечуючи його надійність і ефективність. Найбільший вплив на якість, безпеку та комфорт перевезень вантажів і пасажирів має верхня будова колії, зокрема її основний компонент – залізничні рейки (далі – рейки). Пошкодження рейок може спричинити зниження швидкості руху або навіть зупинку поїздів, що призведе до порушення графіка, аварій чи катастроф із серйозними економічними втратами та можливими людськими жертвами. Тому під час експлуатації залізничної колії до рейок висуваються суворі вимоги щодо їхньої якості.

Призначення рейок зокрема полягає у тому, щоб створювати поверхню з мінімальним опором коченню коліс рухомого складу, безпосередньо сприймати навантаження від коліс і пружно передавати його на опори (шпали, бруси тощо), спрямовувати рух коліс рухомого складу. На ділянках з автоблокуванням рейкові нитки виконують функцію провідників сигнального струму, а на ділянках з електричною тягою слугують провідниками зворотного тягового струму.

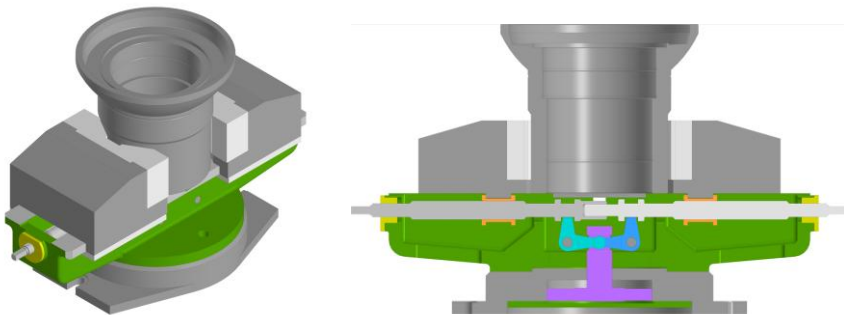
Основні вимоги до рейок можна сформулювати так:

- для забезпечення міцності колії під час руху поїздів з великими осьовими навантаженнями та високими швидкостями рейки повинні мати значну масу. Водночас, для економії металу та спрощення процесів завантаження, транспортування й заміни рейки повинні бути відносно легкими;
- щоб ефективно протистояти згинанню під навантаженням, рейки мають бути жорсткими. Водночас, для зниження рівня динамічних навантажень рейки повинні мати певну гнучкість;
- щоб уникнути крихких зламів під ударно-динамічним впливом коліс, рейки мають бути в'язкими. Водночас, для забезпечення контактної витривалості вони повинні мати достатню твердість;
- поверхня рейок повинна мати високий коефіцієнт тертя для покращення зчеплення з колесами локомотивів. Водночас, для зменшення опору руху вагонних коліс поверхня кочення рейок має бути максимально гладкою;
- рейки повинні гарантувати безпечний рух поїздів на встановлених швидкостях;
- рейки повинні характеризуватися високою довговічністю;
- рейки повинні бути технологічними у виробництві та експлуатації;
- рейки повинні мати тривалий термін служби.

СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ САМОЦЕНТРУВАЛЬНИХ ЛЕЩАТ

*Невальонний О. Ю., студент гр. ТМ.м-31; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

В рамках підготовки кваліфікаційної роботи магістра було спроектовано конструкцію самоцентрувальних лещат для базування та закріплення заготовки корпусу підшипників на операції комплексній з ЧПК. Для перевірки прийнятих проектних рішень було проведено дослідження скінченно-елементної моделі системи «пристрій-заготовка» методом статичного аналізу. Загальний вигляд досліджуваної моделі системи «пристрій-заготовка» наведений на рис. 1.



Твердотільна модель лещат була побудована в CAD-системі SolidWorks (див. рис. 1). Дослідження системи «пристрій-заготовка» методом статичного аналізу проводилось в CAE-системі Ansys Workbench (модуль Static Structural). В рамках статичного аналізу моделі були задані матеріали компонентів системи, що за своїми фізико-механічними властивостями відповідають середньо-вуглецевій конструкційній сталі (межа міцності на розрив – 460 МПа, межа текучості – 250 МПа, модуль пружності Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа) та використовуються в Ansys за замовчуванням. Для підвищення рівня адекватності розрахунку моделі були задані характеристики контакту спряжених поверхонь компонентів лещат та заготовки («тертя ковзання» (Friction) з коефіцієнтом тертя 0,1 та «без тертя» (Frictionless)). Для розрахункової моделі були задані граничні умови у вигляді поверхонь компонентів, працюючих в умовах жорсткої (фіксованої) опори (Fixed Support), крутного моменту (Moment), що намагається повернути заготовку навколо її центральної осі в результаті дії сил різання, та сили (Force) на штоку пневмоциліндра.

В результаті розрахунку моделі було одержано епюру внутрішніх напружень (див. рис. 2). Аналіз епюри показав, що максимальний рівень напружень становить 298,2 МПа та зосереджений в матеріалі осі, яка

використовується для розміщення важелів. Такий рівень напружень не є прийнятним, оскільки він перевищує допустиму величину – 250 МПа (межа текучості середньо-вуглецевої конструкційної сталі).

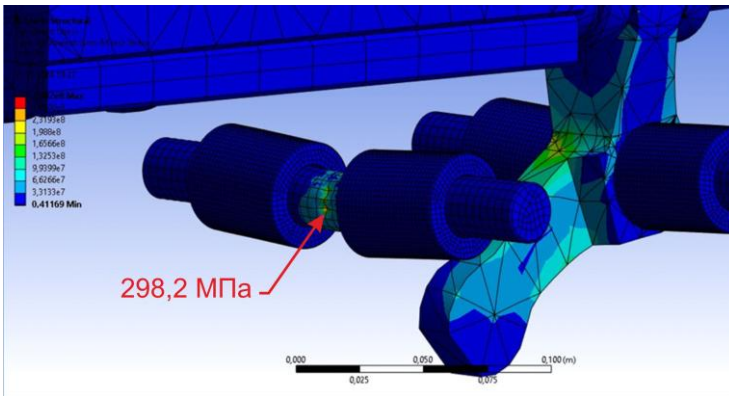


Рисунок 2 – Епора внутрішніх напружень (первинна модель)

Для збільшення поперечної жорсткості осі було прийнято рішення про збільшення її діаметру з 24 мм до 26 мм. В результаті було одержано епору внутрішніх напружень, яка показала зменшення максимальної величини напружень до 160 МПа з розміщенням в області галтели важеля (див. рис. 3).

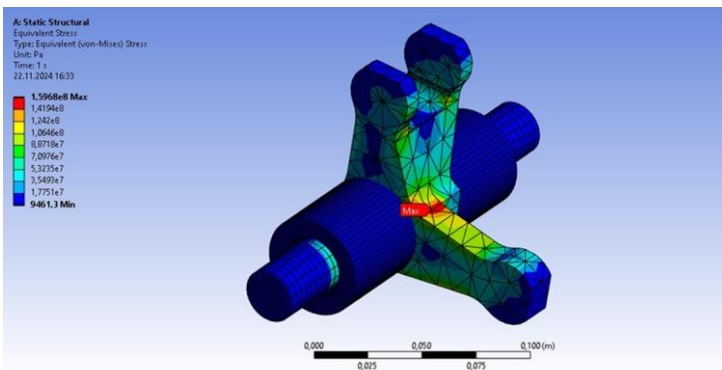


Рисунок 3 – Епора внутрішніх напружень (скоригована модель)

В результаті дослідження скінченно-елементної моделі системи «пристрій-заготовка» були перевірені прийняті під час проектування пристрою конструкторські рішення та скориговані параметри його окремих компонентів, що дозволяє говорити про потенційне підвищення рівня експлуатаційної надійності лещат загалом.

ВИБІР ПРОТОКОЛУ КОМУНІКАЦІЇ МІЖ ЦИФРОВИМ ДВІЙНИКОМ ТА ФРЕЗЕРНИМ ВЕРСТАТОМ

*Соколов О. С., аспірант; Іванов В. О., професор,
Сумський державний університет, Суми, Україна*

Цифрові двійники є популярною концепцією в Індустрії 4.0. Вони являють собою віртуальну копію фізичного об'єкта або системи. Віртуальні двійники отримують данні з реального технологічного об'єкта для їх аналізу, моделювання та прогнозування їх поведінки в різних умовах. З іншого боку, цифровий двійник коригує параметри керування реального об'єкта, наближаючи їх до заданих вимог. Одним із завдань створення цифрового двійника є забезпечення надійного обміну даними між реальним об'єктом та його цифровою копією [1].

Для цифрового двійника важливо забезпечити передачу даних у режимі реального часу, щоб передбачати відмови та оптимізувати виробничі процеси. Хоча існує безліч протоколів передачі даних, необхідно, щоб цей протокол був стандартизований для виробництва. Для утворення зв'язку між промисловим обладнанням та цифровими двійниками найчастіше використовують такі протоколи передачі даних як TCP/IP, HTTP, MQTT, CoAP, OPC UA тощо, але з точки зору мінімальних затримок найкращими є протоколи MQTT і OPC UA.

У даній роботі наведені результати дослідження використання протоколів MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) і OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) для передачі даних між фрезерним верстатом Holzmann BF 25VLN та цифровим двійником. Для обміну даними всередині системи було використано мову програмування Python.

Було виявлено, що з точки зору ефективності передачі даних протокол MQTT показав кращі результати. Це пов'язано з тим, що даний протокол MQTT був спеціально розроблений для підключення механізмів з обмеженими ресурсами та керування великою кількістю пристроїв, що робить його незамінним для Інтернет-речей. Ще однією перевагою протоколу MQTT є його здатність працювати в умовах нестабільної мережі. Перевагою протоколу OPC UA є більш ширший спектр функцій, таких як підтримка різних типів даних, включаючи структуровані дані та історичні дані, а також вбудовану безпеку та стандартизовані моделі об'єктів для зручності розробників.

Таким чином, вибір потрібного протоколу є багатокритеріальною задачею і залежить від конкретних потреб і характеристик проекту, такі як тип даних, вимог до подачі даних і рівня безпеки тощо.

Список літератури

1. Nam, L.P., Cat, T.N., Nam, D.T., Van Trong, N., Le, T.N., Pham-Quoc, C. (2023). OPC-UA/MQTT-Based Multi M2M Protocol Architecture for Digital Twin Systems ICIT 2023. vol 187. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46573-4_30.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОГЕОМЕТРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ КОНКРЕТНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ВЛАСТИВОСТІ

*Денисюк В. Ю., доцент, кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет,
м. Луцьк*

Поняття якості продукції має комплексний характер. Під якістю продукції розуміється сукупність властивостей, що зумовлюють її здатність задовольняти певним потребам відповідно до її призначення. Властивості конструкційних матеріалів при цьому відіграють важливу роль. Їх вихідний стан повинні гарантувати постачальники цих матеріалів. Проте, не применшуючи ролі конструкційних матеріалів, основні характеристики якості виробів формуються у процесі виготовлення. Саме в процесі виготовлення забезпечуються вимоги щодо геометричної точності, якості поверхні та поверхневого шару матеріалу виробів, обґрунтовані при проектуванні [1].

Підвищення геометричної точності виробів підвищує їхню якість, але одночасно підвищується і собівартість їх виготовлення, тому можливості впливу геометричної точності на якість виробів обмежені об'єктивними факторами. Крім того, при виготовленні виробів з металів і сплавів, у багатьох випадках мають місце механічні та термічні впливи, що призводять до пластичної деформації кристалічних решіток матеріалу виробу, що призводить до виникнення або зміни механічних напружень в деформованому шарі матеріалу виробу [2].

З численних факторів, що впливають на якість виробів, що виготовляються, найменш вивченими залишаються шорсткість функціональних поверхонь деталей та залишкові напруження, які виникають в поверхневих шарах матеріалу виробів. Тому, важливим завданням для виробництва є оптимізація характеристик поверхневого шару деталей, як основний спосіб підвищення якості продукції, що випускається.

Відомо, що мікрогеометрія реальної обробленої поверхні формується під впливом великої кількості різних факторів (режими різання, якість різального інструменту, похибка форми та розмірів заготовки тощо). Це дає підставу розглядати її як реалізацію випадкового поля, відповідно профіль реальної поверхні можна розглядати як реалізацію випадкової функції. Враховуючи це, з математики відомо, що найбільшу інформацію про профіль, як про випадкову функцію, мають функції щільності розподілу його ординат та кутів нахилу. Звідси впливає доцільність використання цих функцій як критеріїв оцінки та контролю мікрогеометрії поверхні.

Процес експериментального визначення найкращої мікрогеометрії для конкретної функціональної властивості деталей з метою створення моделі бази даних включає наступні основні 3 етапи.

Перший етап – аналіз впливу шорсткості поверхні на конкретну функціональну властивість. На цьому етапі виготовляються дослідні зразки з різною вихідною мікрогеометрією поверхні. При виготовленні зразків фіксуються види та режими їх обробки – інформація заноситься до моделі бази даних. Усі виготовлені вищезгаданим способом зразки піддаються однаковому випробуванню з контролем величини характеристик потрібної функціональної властивості. За отриманими результатами робляться висновки про наявність впливу шорсткості на дану функціональну властивість або відсутність такого впливу. При доведеному впливі шорсткості поверхні на конкретну функціональну властивість дослідження переходить на другий етап. Якщо мікрогеометрія поверхні не впливає на дану функціональну властивість, то дослідження припиняється.

Другий етап – проведення оптимізації мікрогеометрії конкретних поверхонь для дослідження їх функціональних властивостей в конкретних умовах.

Третій етап – застосування апарату оптимізації з перевіркою адекватності отриманих технологічних залежностей для досліджуваних функціональних характеристик поверхні.

На кожному із зазначених етапів до моменту перевірки рівня досліджуваної функціональної властивості оцінювалася і контролювалася шорсткість дослідних зразків з використанням непараметричних (графічних) критеріїв оцінки. При цьому, щоб повністю охарактеризувати властивості поверхні, було проведено оцінку стаціонарності її мікрогеометрії та фільтрацію профілів за допомогою прямого та зворотного Фур'є-перетворення. У процесі оптимізації шорсткості поверхні для конкретної функціональної властивості використовуються як параметричні, так і графічні критерії її оцінки та контролю, за яких у даних дослідженнях застосовуємо графічні зображення кривої Аббота, графік щільності розподілу ординат та тангенсів кутів нахилу профілів та сам профіль поверхні зразка. Будь-який з цих графіків для кращого зразка приймається як зразок, а вид і режим обробки кращого зразка вводяться у процеси виготовлення серійної продукції. Отримані еталонні графіки слід використовувати при контролі в серійному виробництві деталей, шорсткості поверхонь яких впливають на цю властивість. Запропонована методика дозволяє задовольнити всі умови, без обов'язкового виконання яких оптимізація мікрогеометрії неможлива.

Список літератури

1. Дзюра В.О., Марущак П.О. Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль: монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 170 с.

2. Заблоцький В.Ю., Дахнюк О.П., Марчук В.І. Забезпечення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин на операціях механічного оброблення: монографія. Луцьк: «Вежа Друк», 2017. 120 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТОНКОСТІНИХ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ З ПОРОШКОВИХ СТАЛЕЙ

Мараховський М. Д. студент гр. МБ-11/Імв; Проскурня С. І. аспірант каф. ТМВІ, Сумський державний університет, м. Суми

Високоякісні порошкові сталі мають високу міцність, зносостійкість та корозійну стійкість, саме тому вони використовуються для виготовлення інструментів для холодної обробки та обробки полімерів, гвинтів, втулок, швидкозношуваних деталей, вальців, компонентів для промисловості рециклювання, деталей військової техніки, інструментів для пресування порошків на інших деталях які працюють у складних умовах експлуатації.

У свою чергу вказані параметри досить сильно впливають на якість механічної обробки деталей виготовлених із порошкових сталей. Саме тому для підвищення якості обробки деталей виготовлених із цих сталей, потрібно визначитись з основним критерієм який впливає на якість оброблених поверхонь даних деталей. Цим критерієм є оброблюваність даних матеріалів, оскільки правильно підібрані режими обробки, дозволяють отримати високу якість оброблених поверхонь деталей та забезпечують мінімальні деформації.

Оброблюваність матеріалів визначається за такими основними параметрами різання – величина сил різання, що діють на заготовку в процесі обробки, ефективна потужність різання, особливість деформації зрізаного шару, утворення наростів та виїмок на поверхнях інструментів, шорсткість поверхні, стійкість ріжучого інструменту, залишкові внутрішні напруження що з'являються в матеріалі заготовки через нерівномірність його структури. Всі зазначені параметри мають безпосередній вплив на якість обробки деталей виготовлених з порошкових сталей, оскільки висока міцність даних сталей впливає на їхню оброблюваність. Саме тому, для підвищення якості обробки деталей виготовлених з порошкових сталей аустенітного класу, потрібно провести структурно параметричну оптимізацію.

Це потрібно зробити шляхом вибору оптимальних параметрів механічної обробки, з використанням сучасних програмних продуктів для автоматизованого підбору режимів різання від компаній Sandvik Coromant чи SECO Tools. Правильно підібрані режими різання, забезпечать максимальну продуктивність обробки, при цьому деформація матеріалу деталей буде мінімальною. Для забезпечення максимальної продуктивності при обробці порошкових сталей, також можна використати спеціалізовані ріжучі інструменти на основі алмазу, які дозволяють отримати високу якість обробленої поверхні деталей з високою твердістю поверхні. Важливо також в процесі обробки дотримуватись правильної технології обробки деталей виготовлених з порошкових сталей, це також дозволить підвищити якість обробленої поверхні.

Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, старшого викладача Довгополова А. Ю. і канд. техн. наук, доцента Некрасова С. С.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОДЕТОНАТОРА ШВИДКОЇ ДІЇ ДЛЯ ПІДПАЛУ БОЙОВОГО ЗАРЯДУ

Фадєєв В. М., студент гр. МБ-11/1мв; Довгополов А. Ю., старший викладач кафедри ТМВІ, Сумський державний університет; Лупирь В. В., генеральний директор ТОВ «Науково-виробнича компанія «Папірус», м. Суми

В умовах військової агресії Російської федерації проти України, всі зусилля української наукової спільноти були спрямованні на допомогу Збройним силам України, шляхом розробки нових та модернізації вже існуючих видів озброєння. Основною проблемою яка була і залишається у Збройних силах України, це відсутність певних компонентів до застарілої зброї та боєприпасів виробництва минулого століття. Одним із таких компонентів, є електродетонатор який використовується для підпалу димових та порохових зарядів. Більшість електродетонаторів які використовувались для приведення в дію бойових зарядів, виробляються на території Росії, тому в даний час не можуть бути доступні для українських військових.

Задачею авторів дослідження була розробка модернізованої конструкції електродетонатора швидкої дії, яка б за своїми технічними характеристиками могла б замінити відсутні компоненти для повноцінного використання застарілих боєприпасів. Поставлена задача вирішувалась шляхом розробки конструкції електродетонатора з використанням сучасних стандартних елементів електрозапалу, при цьому основні технологічні та приєднувальні розміри самого детонатора відповідають заданим вимогам (можливість приєднання до боєприпасів без зміни конструкції самого боєприпасу).

Модернізована конструкція електродетонатора містить корпус з ізольованим контактом для подачі напруги, з гільзою, яка наповнена піротехнічною сполукою, замкнута пластиковою заглушкою, та електросірником, корпус та гільза з'єднуються між собою за допомогою різьби, два контакти електросірника, відділенні одне від одного струм непровідними капроновими шайбами, які не дають можливості подати напругу на сірник до моменту встановлення його в боєприпас та підключення до системи живлення.

Запропонована конструкція електродетонатора, дозволяє забезпечити надійність та безпечність його роботи. Використання в конструкції електродетонатора електросірника та двох струм непровідних капронових шайб, унеможливило подачу напруги на сірник до моменту його підключення до системи живлення, це не дозволяє електродетонатору спрацювати до подачі на нього напруги. У свою чергу приєднувальні та конструктивні розміри електродетонатора залишились без змін, що дозволяє безперешкодно приєднати його до відповідних боєприпасів. Використання в конструкції детонатора електросірника, дозволило також підвищити його швидкість, оскільки підпал електросірника відбувається протягом 1 секунди після подачі напруги, а відповідно відразу відбувається спрацювання електродетонатора.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ФЕМТОСЕКУНДНИХ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЛАЗЕРНО-ІНДУКОВАНИХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ

Москал Д., канд. техн. наук; Мартан Й., канд. техн. наук, доц., Research Centre «New Technologies», Західночеський університет, м. Пльзень, Чехія; Саприкіна Е. В., студ. гр. МІТ-н423к; Алексенко Б. О., канд. техн. наук, с.н.с. кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Фемтосекундне лазерне випромінювання дозволяє з високою точністю модифікувати поверхню металів без значного теплового впливу, що відкриває нові можливості у нанотехнологіях та матеріалознавстві. Лазерно-індуковані структури покращують оптичні, електричні та механічні властивості матеріалів, що важливо для мікроелектроніки, біомедичних технологій та антикорозійного захисту.

Метою даного дослідження є вивчення процесу формування лазерно-індукованих періодичних структур (LIPSS) на поверхні металів під дією фемтосекундного лазерного випромінювання, а також аналіз впливу магнітного поля на їхні характеристики.

На першому етапі дослідження було проведено оптимізацію режимів обробки зразків фемтосекундним лазерним випромінюванням, після чого їхня поверхня була детально проаналізована за допомогою цифрової мікроскопії.

Наступним етапом стали експерименти із застосуванням зовнішнього магнітного поля, метою яких було вивчення його впливу на формування LIPSS. Для комплексного аналізу було використано різні типи магнітів, а також створено структури високої (HSFL) та низької (LSFL) просторової частоти.

На низьких частотах (LF-LIPSS) структури є більш вираженими, тоді як височастотні структури (HF-LIPSS) практично не зазнають впливу магнітного поля.

Список літератури

1. Bonse, J., Höhm, S., Kirner, S. V., Rosenfeld, A., & Krüger, J. (2017). "Laser-induced periodic surface structures—A scientific evergreen." *Journal of Applied Physics*, 122(22), 225105. DOI: 10.1063/1.5001209

ОГЛЯД СУЧАСНИХ КІНЕМАТИЧНИХ РОЗВ'ЯЗУВАЧІВ ДЛЯ КОЛАБОРАТИВНИХ РОБОТІВ

*Андрусішин В. К., аспірант гр. ТМ-91; Іванов В. О., проф. каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Промислові роботи – ключовий елемент автоматизації виробництва. В промисловості застосовуються як класичні, так і колаборативні роботи (коботи). Класичні роботи вирізняються швидкістю й вантажопідйомністю, але їх ефективність знижується в умовах індивідуального та дрібносерійного виробництва. Коботи є наступним поколінням роботів та здатні безпечно взаємодіяти з людьми. В той час як кобот бере на себе рутинні, важкі та небезпечні задачі, людина виконує творчі задачі. Колаборація значно підвищує гнучкість і безпеку виробничих процесів.

Однак, сучасні коботи лише зменшують силу зіткнення або зупиняються перед ним, що вимагає перезапуску програми. Більш перспективною є ідея динамічної зміни траєкторії, коли потенційна колізія усувається шляхом обходу перешкоди. Застосування цього підходу може покращити безпеку та продуктивність виробничого процесу.

Потрібні сучасні розв'язувачі кінематики, що визначають кути ланок для руху по заданій траєкторії. Існують аналітичні та ітеративні розв'язувачі [1]. Аналітичні розв'язувачі встановлюють пряму залежність між кутами ланок та положенням кінцевого ефектора, та підходять для роботів з добре визначеною структурою (до 6 степенів свободи) і є швидшими, але менш гнучкими. Для уникнення колізій в аналітичних розв'язувачах використовується метод потенційних полів.

Ітеративні розв'язувачі не встановлюють прямої залежності, а поступово наближаються до цілі. Їх переваги включають універсальність та можливість оптимізації траєкторії за багатьма критеріями. Однак, вони ресурсоемні, хоча сучасних процесорів достатньо для роботи даних розв'язувачів. Ітеративні методи особливо ефективні для роботів з високим ступенем свободи (7 осей та більше), що характерно для сучасних коботів.

Перспективним є метод демпфованих найменших квадратів, який дозволяє одночасно наближатися до цілі та уникати перешкод, і може включати додаткові оптимізації [2]. Впровадження алгоритму демпфованих найменших квадратів здатен підвищити безпеку та продуктивність виробництва.

Список літератури

1. Spong M. W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot modeling and control. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 2020. ISBN 978-1-119-52399-4.
2. Di Vito D., Natale C., Antonelli G. A Comparison of Damped Least Squares Algorithms for Inverse Kinematics of Robot Manipulators *. IFAC-PapersOnLine. 2017. Вип. 50, № 1. С. 6869–6874.

INFILTRATION PROCESS IN SELECTIVE LASER SINTERING

*Bezkhlibnyi D., post-graduate student; Pukhalska G., Ph.D., Assoc. Prof.,
Department of Machinery Engineering Technology, National University
“Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine*

The technological process of infiltration is widely used as a method of post-processing of additive manufacturing products (SLS, SLM) to reduce the technological porosity of the resulting products and increase their functionality. Infiltration is carried out outside the main installation (in the furnace). It is based on the penetration of infiltrated substances, which have a lower melting point compared to the main material, into the pores of the product due to the capillary effect, which significantly increases the density. The technology is used for products obtained by sintering metal, non-metallic powders, composite compositions. The essence of the infiltration method is that a cellular framework is formed from the powder of a more refractory component, and then the pores are filled with a molten low-melting component (metal or alloy). To improve infiltration, a small amount (2.5÷5.0%) of infiltrate powder or any other low-melting substance is added to the powder of the refractory component before molding [1].

In SLS technology, porosity is one of the significant drawbacks of the process. The presence of porosity is mainly due to the peculiarities of the implementation of the process of selective laser sintering of powder media. Products obtained by SLS have a cellular structure (porosity can be more than 20%) and reduced mechanical properties. A decrease in porosity can be achieved by reducing the grain size of the powder material, even to the nanorange (1÷100 nm), but in most cases SLS products are subjected to infiltration, which is the most important stage of post-processing of products obtained by layer-by-layer growth from the initial dispersed media. Manufacturing high-quality products from non-metallic powders by selective laser sintering is a rather difficult task due to low sintering ability, limited plasticity, problematic machining, etc. The use of infiltration as a post-process is an economical mechanism for manufacturing products from non-metals with complex geometry and required properties[1,2].

List of references

1. Пупань Л. І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посібник / Л. І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 91 с.
2. Lauwers B. Hybrid processes in manufacturing / B. Lauwers, F. Klocke, A. Klink, A. E. Tekkaya, R. Neugebauer, D. Mcintosh // Manufacturing Technology, 2014. – V. 63, N 2. – P. 561-583.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ В СЕРЕДОВИЩІ «DEFORM 3D»

*Мажуга М. Є., студент гр. МБ-21; Швець С. В. доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Точіння є одним з основних процесів механічної обробки металів, що дозволяє отримувати деталі з високою точністю та якістю поверхні. У даній роботі розглянуто моделювання процесу точіння сталі 45 (AISI 1045) в середовищі DEFORM 3D з використанням різця TNMA 090302, оснащеного твердосплавним інструментальним матеріалом групи ВК.

Для моделювання процесу точіння було встановлено наступні режими різання:

- швидкість різання (v): 150 м/хв;
 - подача (s): 0,3 мм/об;
 - глибина різання (t): 0,5 мм.
- Геометрія різця:
- передній кут (γ): -5° ;
 - задній кут (α): 5° ;
 - головний кут у плані (ϕ): 90° .

Експериментальні дослідження показали, що максимальні напруження, які викликають руйнування і утворення стружки, виникають в зоні площини сколювання (рис. 1) і досягають 1320 МПа. Ці напруження є критичними для процесу точіння, оскільки вони визначають якість обробленої поверхні та зносостійкість інструменту.

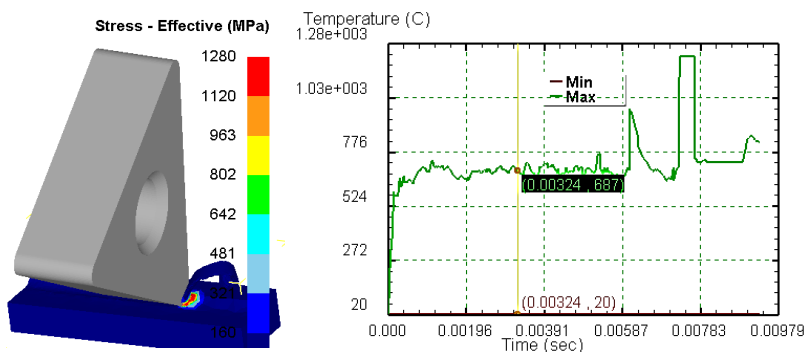


Рисунок 1 – Дослідження напружень і температури різання

Моделювання процесу точіння в середовищі DEFORM 3D дозволяє отримати детальну інформацію про розподіл напружень та температур у зоні різання. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів різання та підвищення ефективності процесу точіння.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБЛЕННЯ СПРЯМОВУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Плис В. С., аспірант; Дегтярьов І. М., канд. техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Однією з основних часток в вартості насосної продукції є власне частка вартості матеріалів, з яких виготовляються окремі деталі, і, відповідно, вартість оброблення цих деталей, яка на пряму пов'язана з тим, з якого саме матеріалу виготовляється деталь. Більш зносостійких матеріалів, таких як високолеговані корозійностійкі жароміцні сталі мартенситного класу 20X13, 30X13, або високолегованої жароміцної нержавіючої сталі аустенітного класу 12X18H10T чи їх аналогів AISI 420 та AISI 304 відповідно. Ці матеріали більш зносостійкі і більш довговічні, але іншою стороною є погана оброблюваність різанням. В цей же час є багато насосів для побутових цілей, що працюють в неагресивних середовищах і спрямовувальні апарати яких виготовляються з чавуну марки СЧ 20.

Підприємства з виготовлення насосів виготовляють ці апарати і колеса, але все одно для забезпечення рентабельності виробництва і його енергоефективність – швидше виробляти, менше витратити матеріалів і бути конкурентоспроможними не тільки на ринку України, а і на світовому ринку, вони зацікавлені в зменшенні собівартості – зменшення часу виготовлення, зменшення витрат на інструмент та матеріали. Тому для актуальності дослідження при співпраці з інженерами машинобудівних підприємств Сумської області, які займаються виготовленням насосного обладнання – АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», ПрАТ «Свеський насосний завод», АТ «СМНВО - ІНЖІНІРИНГ» та ТОВ «ТРИЗ ЛТД», які надали доступ до своїх креслень насосів, і було проаналізовано мінімум по десять найменувань креслень кожного з видів насосів різних габаритів.

Аналіз цих креслень дозволив опосередковано розподілити матеріали, з яких найбільш часто виготовляються апарати спрямовувальні – з чавунів виготовляють близько 30% від загального обсягу, високолеговані корозійностійкі жароміцні сталі мартенситного класу займають основну частку – близько 50%, а також високолеговані жароміцні нержавіючі сталі аустенітного класу для агресивних середовищ, які складають лише 15-20% через дороговизну самого матеріалу та складність обробки.

Так як аналіз показав, що найбільшу частку матеріалів, з яких виготовляються апарати спрямовувальні, займають сталі типу 20X13, то відповідно і дисертаційне дослідження доцільно зосередити саме на оптимізації режимів різання та вибору інструментів для обробки саме цих матеріалів і проектування верстатного пристрою для обробки апаратів саме з цього матеріалу, враховуючи силову взаємодію саме при обробці сталей типу 20X13 або закордонного аналогу типу AISI 420.

ВИКОРИСТАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ЗІ ЗМІННИМИ НАЛАГОДЖЕННЯМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ

*Швець Р. С., аспірант; Дегтярьов І. М., канд. техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Сучасні тенденції в машинобудуванні показують, що виробники прагнуть скоротити час виходу продукції на ринок, тоді як складність виробів та вимоги до їхньої точності й якості постійно зростають [1]. Використання гнучких верстатних пристроїв (ВП), які дозволяють швидко переналаштовувати обладнання для обробки деталей різних типорозмірів є дуже актуальним. Гнучкі ВП активно впроваджуються на підприємствах. Розрахунки показали перевагу універсально-збірних переналагоджуваних ВП над спеціальними та змішаними системами, зберігаючи при цьому високу жорсткість і точність обробки. Отримані результати можуть бути використані для вибору оптимальних ВП на машинобудівних підприємствах.

Штифтові з'єднання (ШЗ) використовуються для забезпечення високої точності центрування під час складання машин та механізмів і можуть виконувати як роль напрямних елементів для підвищення жорсткості конструкції, так і передбачати можливість періодичного демонтажу [2]. Зокрема, для збереження точності взаємного розташування деталей при повторних монтажах застосовуються штифтові конічні з'єднання (ШКЗ), що є важливим для обслуговування та заміни деталей. Геометричний аналіз області контакту ШКЗ показав, що тип контакту визначається лише допустимими кутовими відхиленнями отвору під штифт та самого штифта. Для конструкторів ШКЗ запропоновано графіки залежності відхилення кутів отворів і штифтів класів точності А і В від номінального значення, а також значення діаметрального зазору на більшому діаметрі штифта. Дослідження показали, що сумарна відносна похибка відхилення кутів отвору та штифта може досягати 25 % для класу точності А та 38 % для класу В. Отримані результати вказують на необхідність подальших досліджень ШКЗ з конусністю 1:50, зокрема, для розробки рекомендацій щодо нанесення технічних вимог на креслення, що допоможе зменшити брак у виробництві.

Список літератури

1. Резерви підвищення гнучкості верстатних пристроїв механообробного виробництва / В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, І. М. Дегтярьов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2015. - № 4. - С. 38-44.
2. Дегтярьов І. М. Аналіз застосування конструкцій та області контакту штифтових конічних з'єднань з конусністю 1:50 / І. М. Дегтярьов, А. О. Нешта, М. П. Самардак, В. М. Кононович, П. В. Кушніров, В. М. Бага, Я. В. Клок // Технічні науки та технології. – 2021. – № 3 (25). – С. 26-37.

ТОЧІННЯ З ПОПЕРЕДНІМ НАГРІВОМ: ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ СПЛАВУ INCONEL 718

Пастернак С., аспірант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Однією з актуальних проблем сучасного машинобудування є підвищення ефективності механічної обробки важкооброблюваних матеріалів, зокрема хромонікелевих сплавів, таких як Inconel 718. Використання традиційних методів обробки супроводжується високими силами різання, швидким зношуванням інструменту та низькою продуктивністю. Одним із перспективних підходів до вирішення цієї проблеми є метод точіння з попереднім нагріванням (ТПН), який дозволяє знизити силу різання та підвищити стійкість інструменту [1-2].

Профілактичний обігрів дозволяє реалізувати наступні переваги [2]:

- наявність інтенсивного локального нагріву, який розм'якшує тільки матеріал заготовки в зоні стружкоутворення, не впливає на появу додаткових залишкових напружень розтягу, оскільки оброблена поверхня заготовки залишається відносно холодною і металургійно непошкодженою;
- підвищена стійкість ріжучого інструменту завдяки зниженню силових і фрикційних навантажень на ріжуче лезо;
- сила різання зменшується в результаті зниження міцності на зсув;
- споживання енергії є нижчим;
- збільшується інтенсивність і швидкість зняття матеріалу, завдяки чому досягається висока продуктивність обробки;
- якість поверхні є кращою порівняно з традиційними методами, оскільки процес формування відбувається з більшою кількістю пластичного матеріалу в заготовці, що виключає утворення зони, пошкодженої термодформаційними мікротріщинами та міжкристалічними дефектами.

Серед основних способів нагріву заготовки найбільш поширеними є: індукційне нагрівання, плазмовий нагрів, полум'яне нагрівання, лазерний нагрів, електродугове нагрівання.

Таким чином, ця класифікація дозволяє виділити два типи нагрівання. Плазмове, лазерне та полум'яне нагрівання вважаються локальним нагріванням, тоді як індукційне та електричне нагрівання називають об'ємним нагріванням, оскільки вони нагрівають всю заготовку, а не її частину або ділянку.

Технологія ТРН найкраще реалізується в результаті обробки металу однолезовим ріжучим інструментом і спеціально для важкооброблюваних матеріалів з твердістю по Роквеллу "С" більше 45 (але зазвичай в діапазоні 58-68 HRC)

Імітаційне моделювання, виконане в програмному забезпеченні AdvantEdge, дозволяє оцінити вплив попереднього нагріву на зниження сили різання.

В якості дослідного зразка було використано Inconel 718. У ході комп'ютерного моделювання процесу точіння було досягнуто таких результатів. Весь процес нагріву можна умовно поділити на три основні зони впливу. В першій зоні до 200°C, спостерігається незначне зниження сили різання. У другій зоні 200-500°C відбувається помірне зниження сили різання до 17,6%. У третій зоні 500-700°C вплив нагріву є найбільш вираженим, дозволяючи знизити силу різання до 37,5% [3].

До недоліків (ТПН) можна віднести складність контролю температурного режиму, можливе термічне пошкодження заготовки та необхідність додаткового обладнання для нагріву [4]. Але правильний вибір режимів нагріву та контроль параметрів процесу дозволяють мінімізувати ці ризики [3-4].

Результати імітаційного моделювання в AdvantEdge підтверджують ефективність ТПН для обробки важкооброблюваних матеріалів. Дослідження показали, що найоптимальніша температура нагріву для Inconel 718 становить 500–600°C, що забезпечує значне зменшення сили різання та підвищення стійкості інструменту без негативного впливу на якість обробленої поверхні.

Отже, застосування методу точіння з попереднім нагріванням є ефективним способом підвищення продуктивності механічної обробки важкооброблюваних матеріалів.

Список літератури

1. K. Wegener, F. Kuster, S. Weikert, L. Weiss, and J. Stirnimann, “Success Story Cutting”, *Procedia CIRP*, vol. 46, pp. 512-524, 2016.

2. A.A. Elsadek, A.M. Gaafer, S.S.Mohamed, et al. “Prediction and optimization of cutting temperature on hard-turning of AISI H13 hot work steel”, *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 540, 2020.

3. V. Astakhov, “Machining of Hard Materials – Definitions and Industrial Applications”, in: J. Davim, (eds) *Machining of Hard Materials*, Springer, London, 2011.

4. M. Dwami, and M. Zadshakoyan, “Investigation of Tool Temperature and Surface Quality in Hot machining of Hard to Cut”, *Int. J. of World Academy of Science and Technology*, vol. 46, pp. 10-27, 2008.

5. S.K. Thandra, S.K. Choudhury, “Effect of cutting parameters on cutting force, surface finish and tool wear in hot machining”, *International Journal of Machining and Machinability of Materials (IJMMM)*, vol. 7, no. 3/4, pp. 260 – 273, 2010.

ДОСЛІДЖЕННЯ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ МОДЕЛЕЙ ТИПОВИХ ОПОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

*Юсупов Д. А., аспірант гр. А-35/МТ; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Для пошуку потенційних шляхів підвищення ефективності конструкцій типових опорних елементів (плити, колони, кутники) верстатних пристроїв (ВП) було проведено дослідження їх скінченно-елементних моделей методом модального аналізу. Під час дослідження, як дослідні зразки для побудови скінченно-елементних моделей розглядались геометричні моделі типових опорних елементів ВП виробника LEAVE INDUSTRIAL CO., LTD [1]. Зокрема досліджувались такі вироби: колона BP07-500500-0600 SQUARE TOOLING COLUMN (CNC Tombstone); плита M/C BASE PLATE BP06-75500-0500-18; кутник BP20-340500-0500 M/C ANGLE PLATE.

Як відомо модальний аналіз дозволяє одержати інформацію про форми власних коливань досліджуваної конструкції та відповідні ним величини власних (резонансних) частот. Величини власних (резонансних) частот коливань конструкції опосередковано характеризують її жорсткість та відповідно ефективність.

Для дослідження моделей зазначених опорних елементів методом модального аналізу використовувався пакет інженерного аналізу Ansys Workbench (модуль Modal), для чого на першому етапі дослідження з використанням пакету графічного дизайну SolidWorks були побудовані геометричні моделі згідно з ескізами зазначених елементів. В результаті розрахунку моделей були одержані епюри власних форм коливань з переліком відповідних ним величин власних (резонансних) частот (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку частот власних коливань, Гц

Найменування виробу	Форми власних коливань		
	I	II	III
Колона	430	431	1026
Плита	1636	2499	2512
Кутник	563	614	967

Аналіз даних табл. 1 дозволяє стверджувати про низьку ймовірність виникнення резонансних явищ під час оброблення заготовок з використанням досліджуваних опорних елементів ВП, оскільки всі частоти власних коливань є досить високими.

Список літератури

1. LEAVE INDUSTRIAL CO., LTD. <https://www.leave-fixture.com/en-US/>

ВАЖЛИВІСТЬ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Амелін М. М., аспірант гр. А-35/МТ; Іванов В. О., д-р техн. наук,
проф. каф. ТМВІ, Сумський державний університет, м. Суми*

Сучасне машинобудування характеризується високою складністю та зростаючими вимогами до якості, ефективності й гнучкості технологічних процесів. У таких умовах моделювання технологічних процесів відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності, прогнозованості та оптимізації виробничих операцій. Моделювання передбачає створення математичних, комп'ютерних або фізичних моделей, які відтворюють реальні процеси для їх аналізу, покращення та вдосконалення. Завдяки моделюванню можливо ефективно досліджувати роботу системи без втручання у реальне виробництво, що дозволяє мінімізувати ризики та зменшувати витрати на сировину, енергоресурси, обслуговування обладнання та усунення виробничих дефектів.

Серед основних підходів широко застосовується аналітичне та числове моделювання, що базуються на математичних рівняннях і чисельних методах. Імітаційне моделювання дозволяє створювати віртуальні експерименти та тестувати різні сценарії, не порушуючи реальні технологічні процеси. Останнім часом все більше поширення отримують цифрові двійники, які поєднують реальні дані та комп'ютерні моделі для постійного моніторингу й оптимізації виробництва.

Використання моделювання у виробничих процесах сприяє їх оптимізації та вдосконаленню та дозволяє знаходити ефективні рішення для управління ресурсами, прогнозувати можливі збої та своєчасно їх усувати, що особливо важливо для безперервного виробництва. Завдяки цьому підприємства можуть швидше адаптуватися до змін ринкових умов, впроваджувати інноваційні технології та забезпечувати стабільну якість продукції. Завдяки моделюванню можна швидко адаптувати виробничі процеси до змін ринкового середовища, тестувати нові технології та оптимізувати роботу обладнання. Це особливо актуально в умовах індустрії 5.0, де важливу роль відіграють штучний інтелект, великі дані та хмарні обчислення. Подальший розвиток цифрових технологій сприятиме ще більш точному та адаптивному моделюванню, що дозволить підприємствам досягати високої продуктивності та інноваційності. У результаті моделювання технологічних процесів стає невід'ємною складовою сучасного інженерного аналізу та управління виробництвом, відкриваючи нові можливості для оптимізації та розвитку промисловості.

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

*Лещенко С. В., аспірант; Іванов В. О., професор,
Сумський державний університет, м. Суми*

Промисловість та її розвиток завжди були пов'язані з високим рівнем інженерних знань, винаходами нових матеріалів і технологій.

У сучасному ж світі промислове виробництво переживає глобальні зміни завдяки впровадженню новітніх технологій, таких як штучний інтелект, автоматизація, робототехніка та IoT (Internet of things)[1], [2]. Використання інноваційних підходів дозволяє знизити виробничі витрати, підвищити ефективність процесів, а також зменшити негативний вплив на довкілля.

Одним з найбільш потужних і дієвих інструментів осучаснення виробництва і оптимізації промислових процесів є цифровий двійник – це технологія, що дозволяє створити цифровий (віртуальний) дублікат фізичних процесів (Рис.1). Така цифрова копія використовується для збору даних протягом всього життєвого циклу певного процесу або активу. Тому він містить в собі повну інформацію про характеристику оригіналу[3]

Цифровий двійник дозволяє моделювати різноманітні сценарії в режимі реального часу — від процесів виробництва до управління бізнесом. Аналіз віртуальних процедур дає змогу створювати рекомендації, плани і стратегії для керування фізичними ресурсами. Прийняті рішення вирізняються високою ефективністю, безпекою та економічною вигодою, адже всі можливі ризики були враховані під час моделювання.

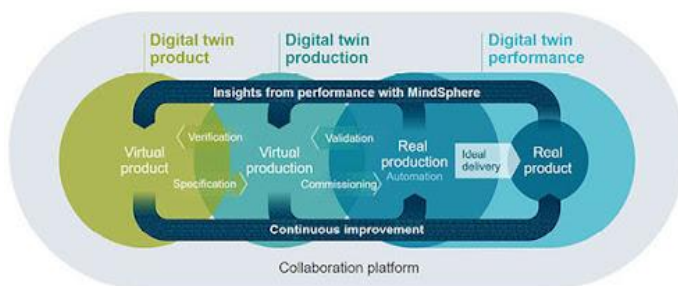


Рисунок 1- структурна схема цифрового двійника

Цифровий двійник накопичує великі обсяги даних про активи та процеси без необхідності залучати додатковий персонал. Наступним важливим етапом цифрової трансформації є пошук дієвих інструментів для аналізу отриманої інформації[4]. У цьому відмінно допомагають платформи

на базі штучного інтелекту (ШІ). Вони обробляють необроблені дані, створюють моделі сценаріїв і забезпечують можливість проведення тестувань у безпечних умовах, підвищуючи шанси на успіх.

Існують інноваційні та перспективні технології, що охоплюють розділ цифрових двійників, створюючи значну бізнес-цінність для інтелектуальних продуктів і розумних операцій. Хоча кожен тип відрізняється певною формою функціональності, складності, інтеграції і технології. Що більше додається технологічних систем, то більш повноцінним стає двійник, створюючи цифровий потік, нові виклики і можливості як для підприємства, що використовує цифрового двійника, так і для постачальника технологій. Фундаментальні технології, що розвиваються охоплюють фізичну і цифрову сфери, забезпечуючи все більш вагомні результати цифрових двійників

Застосування цієї структури в реальному світі часто відбувається у формі партнерських екосистем – необхідно підтримувати безліч технологій.

Як результат сучасні технології здійснюють значний вплив на промисловість, кардинально змінюючи способи виробництва, управління та розвитку галузі. Так, наприклад, використання цифрових двійників дозволяє зменшити витрати на обслуговування та підвищити ефективність для моделювання та оптимізації роботи турбін і двигунів.

Список літератури

1. U. R. S. Yalavarthy, N. B. Kumar, A. R. V. Babu, R. P. Narasipuram, and S. Padmanaban, “Digital twin technology in electric and self-navigating vehicles: Readiness, convergence, and future directions,” *Energy Conversion and Management: X*, vol. 26, p. 100949, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.ECMX.2025.100949.

2. A. M. Aslam, R. Chaudhary, A. Bhardwaj, N. Kumar, and R. Buyya, “Digital twins-enabled game theoretical models and techniques for metaverse Connected and Autonomous Vehicles: A survey,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 238, p. 104138, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.JNCA.2025.104138.

3. P. T. J. C. Filho and O. C. Junior, “Digital Twin in Industry 4.0: Systematic review and content analysis and an architectural reference model,” *Procedia Comput Sci*, vol. 253, pp. 2919–2928, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.02.016.

4. J. Wang *et al.*, “Digital twin system for real-time response prediction and hazard warning of a flexible hose in deep-sea mining,” *Ocean Engineering*, vol. 324, p. 120676, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2025.120676.

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ КОЛИВАНЬ РІЗЦЯ-ОСЦИЛЯТОРА ПРИ НЕПРЕРИВНОМУ ТОЧІННІ

Левченко А. В., аспірант; Козлова О. Б., доцент; Тришин П. Р., кафедра технології машинобудування, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Практична необхідність вивчення впливу швидкості різання на вимушені вібрації виникла ще в 40-х роках минулого століття. Це відбулося з появою нового інструментального матеріалу – твердого сплаву. Збільшення теплостійкості цих матеріалів відкривало можливість значного підвищення швидкості різання, але виявилось, що збільшення швидкості різання призводить до появи вібрації. Тому досліді щодо вивчення впливу швидкості, описані в фундаментальній роботі проф. R.N. Arnolda [1], були фінансовані комітетом з розробки та впровадження твердих сплавів. Також, у ці роки були опубліковані результати досліджень Л.К. Кучми [2] та інших дослідників.

В результаті було сформульовано практичні рекомендації для придушення вібрації та висловлено припущення про механізми її збудження при зміні швидкості різання. У 50-х роках І. Тлуста [3] було сформульовано принцип координатного зв'язку між осями жорсткості окремих вузлів верстата та напрямом дії сили різання, який дозволив зосередити увагу дослідників та конструкторів на вдосконаленні конструкцій металорізального обладнання.

У роботі S.A. Tobias та W. Fishwick [4] був запропонований підхід розглядання теорії регенеративних коливань як загальної теорії для різних умов різання: свердління, торцевого фрезерування, точіння та круглого шліфування. Цей підхід отримав розвиток і зберігся до нашого часу.

Для визначення впливу швидкості різання на інтенсивність коливань різця-осцилятора [5] при безперервному точінні були проведені експерименти на наступних режимах: товщина зрізу $h_0 = 0,2$ мм, ширина зрізу $a = 1,5$ мм, швидкість різання: $v = 16,5 \dots 413,5$ м/хв. Матеріал, що обробляється - Сталь 45, інструментальний матеріал - ВК8, частота власних коливань різця-осцилятора $f_n = 507,8$ Гц. Використовували методику описану у роботі [6].

Розгляд результатів проведених експериментів дозволяє зробити низку важливих висновків.

Зі збільшенням швидкості спостерігається кілька зон різних умов різання:

- зона наростуотворення ($v = 16,5 - 52,9$ м/хв), в якій спостерігається збільшення сили різання P_x , через зміну форми наросту., що впливає на фактичний передній кут - γ_f для значень його повного виродження при швидкостях, близьких до $v \approx 50$ м/хв.

Таким чином, можна вважати, що нестійкість наросту в зоні низьких швидкостей різання не може служити механізмом збудження регенеративних коливань, оскільки форма коливань ріжучої кромки леза є випадковою, а не гармонійною (синусоїдальною);

- зона регенеративних коливань ($v = 66,1 - 200$ м/хв).

Зі збільшенням швидкості амплітуда коливань – A_x підвищується до її максимального значення A_x^{max} і надалі починає знижуватися. У цій зоні спостерігаються гармонійні (синусоїдальні) коливання різальної кромки, що залишає хвилеподібні сліди на поверхні різання. Хвилястість на сусідніх поверхнях різання через оборот, викликає коливання довжини умовної площини зсуву при утворенні стружки, яке визначає коливання сили стружкотворення. Поява джерела змінної сили, що впливає на пружну систему різця-осцилятора, є причиною виникнення коливань при безперервному поздовжньому точінні з постійною швидкістю різання;

- зона переходу від регенеративних коливань до сталого різання.

З підвищенням швидкості вище $v = 200$ м/хв, спостерігається поступове зниження амплітуди коливань – A_x , причому вище швидкості $v = 264,4$ м/хв. Вимір довжини хвиль на поверхні різання стає практично неможливим. Осцилограми коливань починають втрачати синусовидний характер. В реальних умовах режими точіння з високими швидкостями застосовують при використанні у якості інструментального матеріалу надтвердих синтетичних матеріалів на основі алмазу або нітриду бору. Якість (шорсткість) обробленої поверхні при такому точінні порівняно або перевершує якість, отриману при шліфуванні, і не має слідів вібрації.

Список літератури

1. Arnold R. N., Hankins G. A. The Mechanics of the Cutting Operation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1946. Vol. 155 (1). DOI:10.1243/PIME_PROC_1946_155_035_02.
2. Кучма Л. К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения / Л. К. Кучма. – М. : 1959. – 122 с.
3. Tobias S. A., Fishwick W. Theory of regenerative machine tool chatter. *The engineer*, 1958. Vol. 205(7), P. 199-203.
4. Tlusty G. *Manufacturing Process and Equipment*. Prentice Hall, 2000.
5. Vnukov Y., Tryshyn P., Kozlova O., Dyadya S. Cutter-oscillator with single-degree-of-freedom for the study of cutting vibrations. *Strojnický časopis – Journal of Mechanical Engineering* 74, 2024. P. 169-180. DOI:10.2478/scjme-2024-0017.
6. Dyadya S., Vnukov Y., Kozlova O., Trishyn P. Regularities of oscillations during turning and end milling. In Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes. 2024. P. 136-144, Cham: Springer Nature Switzerland. (2023). DOI:10.1007/978-3-031-42778-7_13.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВИХ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ БОРОШНОМЕЛЬНИХ ВАЛЬЦІВ

*Бехало С. М., аспірант гр. А-45/МТ; Некрасов С. С., доцент каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

З огляду на історичні та економічні чинники, одним із найпоширеніших типів борошномельного обладнання, що експлуатується в Україні, залишається вальцовий верстат типу А1-БЗН з вальцями виробництва ПрАТ «Могилів-Подільський машинобудівний завод». Підвищення ресурсу роботи таких вальців є актуальним науково-технічним завданням, зумовленим передусім економічними міркуваннями. Заміна циліндричної частини вальців іншого виробництва або повна модернізація обладнання потребують значно більших витрат порівняно з продовженням строку служби наявних вальців. Перспективним напрямом у цьому контексті є вдосконалення технології нанесення рифлів, що впливає на зносостійкість і ефективність роботи.

Широке застосування борошномельного обладнання спостерігається на підприємстві ТОВ «ТД ЕЛЬДОРАДО» (м. Тростянець, Сумська обл.), яке спеціалізується на виробництві пшеничного борошна. Основним обладнанням є верстати модифікації А1-БЗ-2Н, яких у складі комплексу функціонує п'ять. Кожен має дві пари вальців, що забезпечує роботу десяти помольних систем.

Системи пронумеровано від 1 до 10 у напрямку зменшення крупності помелу — від грубішого до тоншого. Конфігурація рифлів (кількість і кут нахилу) у вальцях кожної системи визначає режим подрібнення зерна та ефективність помелу. Детальні параметри наведено в таблиці 1. Вальці дев'ятої та десятої систем рифлів не мають, що відповідає вимогам до завершальних стадій помелу.

Таблиця 1 – Змінні дані щодо нанесення рифлі залежно від використання борошномельних вальців у помольних системах підприємства

Помольна система, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість рифлі на 10 мм довжини	5	5	6	7,5	8,8	11	12	13	-	-
Нахил рифлі, %	8	8	8	8	12	12	12	12	-	-

Профіль рифлі верстата 2 представлений на рис. 1.

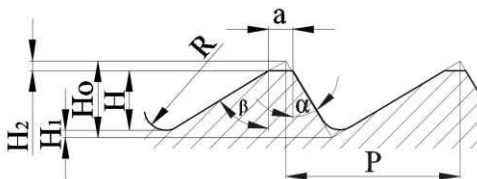


Рисунок 1 – Профіль рифлі вальцового верстата

Профіль рифлі визначається кутом вістря α (20-35°), величина якого визначається положенням грані вістря і кутом спинки β (60-70°), в утворенні якого прийняла грань спинки. Ці дві грані утворюють кут загострення рифлі θ (100-110°). З метою збільшення терміну експлуатації вальців на вершинах рифлів залишають невелику площадку шириною a , з раніше існуючої циліндричної поверхні [1].

Ресурс борошномельних вальців до потреби в перенарізанні рифлів становить орієнтовно 12 місяців активної експлуатації. Такий результат забезпечується використанням якісної сировини, своєчасним технічним обслуговуванням та постійним моніторингом роботи верстата для мінімізації абразивного зношування. Оптимальна схема розміщення вальців відповідно до крупності помелу також сприяє подовженню їх експлуатації.

Відновлення поверхні вальців виконується у два етапи: шліфування та нарізання рифлів, які здійснюються на шліфувально-рифельному верстаті ВСЗ-705 із застосуванням різців типу ВКЗМ. Сумарне зменшення діаметра вальців після повного циклу обробки становить 0,25–1,00 мм залежно від параметрів, наведених у таблиці 1. Конструкція верстата дозволяє використовувати вальці з мінімальним діаметром 236 мм (початковий – 250 мм), проте практично підприємство не застосовує вальці діаметром менше 242 мм через зниження виходу борошна та збільшення частки побічних продуктів.

Розглядається за доцільне вивчити можливість заміни операції шліфування вальця перед нарізкою рифлі на операцію токарної обробки різцями з пластинами кубічного нітриту бору (надалі – КНБ). В такому випадку прогнозується зменшення глибини оброблюваної поверхні та збільшення загального ресурсу борошномельних вальців. Питання використання КНБ для обробки зносостійкого високохромистого чавуну досліджено і у праці [2], результати якої також будуть використані для подальшого дослідження.

Отже, на даний час серед можливих шляхів збільшення ресурсу борошномельних вальців вбачається за необхідне дослідити можливість та доцільність заміни операції шліфування вальця перед нарізкою рифлі на операцію токарної обробки різцями з КНБ.

Список літератури

1. Петров В. М. Вальцьове подрібнююче обладнання. Одеса: ОДАБА, 2019. 227 с.
2. Криворучко Д.В., Некрасов С.С., Нешта А.А. и др. Выбор инструментального материалорезущих пластин для обработки износостойкого чугуна // Збірник наукових праць: Процеси механічної обробки в машинобудуванні. 2013. № 14. С 82-94.

**СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ ТИСКОМ

*Тряпкіна Є. С., студ. гр. І-11/1мт; Міхеев Б. М., студ. гр. І-11/3мт-2;
Дегула А. І., доцент кафедри ПМ і ТКМ, Сумський державний
університет, м. Суми*

Система DEFORM – це інженерне програмне забезпечення, яке дозволяє технологам аналізувати процеси обробки металу тиском, термічної обробки, механічної обробки на комп'ютері, а не в цеху методом проб і помилок. Моделювання процесів за допомогою DEFORM протягом двох десятиліть відіграло важливу роль у покращенні якості продукції провідних компаній. Сьогоднішній тиск конкуренції вимагає від компаній використання всіх доступних інструментів. DEFORM довів свою надзвичайно ефективну роботу в широкому діапазоні дослідницьких і промислових застосувань. Корпорація Scientific Forming Technologies (SFTC) розробляє та підтримує систему DEFORM [1].

Комплекс, що включає віртуальний штамп, прес, молот, прокатний стан і піч, дає змогу перевіряти процес, розроблений технологом, не на реальному виробництві шляхом експериментів, а віртуально – безпосередньо за комп'ютером.

На жаль, ідеальне технологічне оснащення, яке відразу забезпечує отримання виробів необхідної якості з відповідними експлуатаційними характеристиками, створити вдається рідко. У більшості випадків його доводиться доопрацьовувати: змінювати геометрію формотворчих поверхонь, коригувати параметри процесу або навіть повністю переглядати технологію, що потребує значних витрат часу та коштів. Використання системи DEFORM допомагає уникнути подібних труднощів. Завдяки цьому інструменту технолог може провести чисельний експеримент усього за кілька годин і, аналізуючи результати, оперативно внести зміни до параметрів технологічного процесу. При цьому є можливість протестувати десятки варіантів, а не обмежуватися лише двома-трьома параметрами, як це зазвичай відбувається у виробничих умовах. Це дозволяє знайти оптимальний технологічний процес як з точки зору якості, так і економічної ефективності.

DEFORM – це складна розрахункова система, що базується на методи скінченних елементів. Водночас, на відміну від багатьох подібних програм, вона розроблена спеціально для технологів і не потребує глибоких знань цього методу. Завдяки простому та зручному інтерфейсу Windows підготовка завдання та запуск розрахунку займають лише кілька хвилин. При цьому результати можна переглядати вже в процесі обчислень, не чекаючи їх завершення, що значно прискорює аналіз [2].

Однією з ключових особливостей DEFORM є її файлова структура. Усі вихідні дані та результати розрахунку зберігаються в одному файлі, що дає змогу повертатися до будь-якого етапу розрахунку, редагувати параметри,

змінювати геометрію інструменту або заготовки, а також продовжувати перервані обчислення. Це особливо корисно при моделюванні багатоопераційних процесів і коригуванні окремих етапів технології.

Система DEFORM має модульну структуру, що дозволяє адаптувати її конфігурацію відповідно до потреб конкретного підприємства. Вона підтримує моделювання пластичної течії матеріалів у гарячих, напівгарячих і холодних процесах, з урахуванням як ізотермічних, так і неізотермічних умов. Аналіз теплопередачі між об'єктами та всередині них може виконуватися як окремо, так і у взаємозв'язку з процесами деформації [2].

Під час розрахунку враховуються всі основні чинники, що впливають на процес штампування: конвекція, теплове випромінювання, виділення тепла при фазових переходах і пластичних деформаціях, втрати енергії через тертя та контакт між заготовкою й інструментом. Крім того, враховується вплив температури на коефіцієнт тертя й термомеханічні характеристики матеріалу, а також вплив тиску на тертя та загальну поведінку матеріалу в процесі деформування.

Система DEFORM дозволяє задавати практично будь-яке обладнання, включаючи гідравлічні, гвинтові та кривошипні преси, молоти, прокатні стани тощо. Завдавши параметри всього обладнання, можна сформувати бібліотеку устаткування для конкретного підприємства або цеху.

Система DEFORM надає широкі можливості для аналізу результатів, дозволяючи оцінювати процес на предмет можливих дефектів, зокрема утворення тріщин, складок, незаповнення штампа тощо. Вона також забезпечує детальний аналіз течії матеріалу. Результати розрахунків можуть бути представлені у вигляді графіків зусиль, полів розподілу напружень, деформацій і температури, як у графічному, так і в табличному форматі. Окрім цього, система наочно відображає макро- та мікроструктуру виробів, а також відстежує рух окремих точок матеріалу [3].

Список літератури

1. The DEFORM system [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.deform.com> (дата звернення: 13.03.2025). — Назва з екрана.
2. «Комп'ютерні технології проектування процесів та машин»: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів що навчаються за освітніми програмами: Прикладна механіка пластичності матеріалів, Технологія виробництва літальних апаратів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.Д. Лаврінєнков, В.В. Піманов, В.М. Горностай. — Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 138 с.
3. Orliuk, M., Pimanov, V. Використання програмного комплексу DEFORM для оптимізації операцій листового формування. Обробка матеріалів тиском, (2022). 1(51), 110-116. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1\(51\)110](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1(51)110)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ ПРОЦЕСУ ДИФУЗІЙНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ

*Гриб В. В., аспірант гр. А-35/МТ; Ситніков В. О., аспірант гр. А-25/МТ;
Дегула А. І., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, Сумський державний
університет, м. Суми*

Нанесення карбідних покриттів супроводжується масообміном між оброблюваним матеріалом і активним газовим середовищем, яке утворюється в реакційному просторі. Це пов'язано з тим, що в єдиній системі, яка об'єднує активне газове середовище й оброблюваний матеріал, при веденні процесу протікають визначені хімічні реакції. Ці реакції проходять одночасно або послідовно та здійснюються не тільки в об'ємі газової фази, але й на межі її розділу з оброблюваним матеріалом, а також всередині останнього та можуть мати різний вплив на масообмін, і в кінцевому рахунку на процес утворення покриттів. Велике значення для масообміну має перехід дифундуючого елемента із активної газової фази в оброблюваний матеріал, тобто процес, який проходить на межі розділу фаз [1].

Вважають, що при нанесенні покриттів методом хімічних транспортних реакцій можливе протікання декількох процесів в різних зонах реактора [2]. Для обґрунтування вибору технологічних параметрів нанесення захисних покриттів в даній роботі проведено аналіз фізико-хімічних умов насичення, який оснований на термодинамічному підході й направлений на теоретичне визначення рівноважного стану реакційного середовища.

Результати дослідження системи, за присутності в якості насичуючого елемента титану, наведені в таблиці 1 та на рисунку 1.

Таблиця 1 – Рівноважний склад системи за участю титану

Склад системи, моль		Склад реакційного середовища	
		Газова фаза	Конденсована фаза
1.	Ti-C-Cl = 5-2-2	TiCl ₂ , TiCl ₃ , TiCl ₄	TiC
2.	Ti-C-Cl-W-Co = 3-2-2-2-0.5	TiCl ₂ , TiCl ₃ , TiCl ₄	TiC, W
3.	Ti-C-Cl-W-Co = 3-4-4-2-0.5	TiCl ₄ , TiCl ₂ , TiCl ₃ , WCl ₂ , CoCl ₂ , CoCl	TiC, WC, C

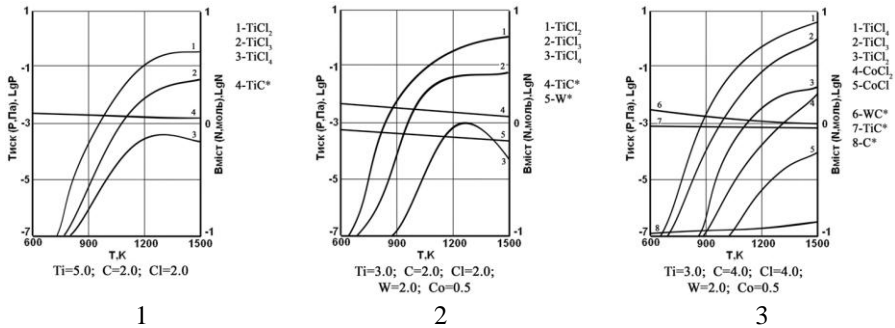


Рисунок 1 – Рівноважний склад системи

Розрахунки показали, що при наявності в системі титану, вуглецю і хлору в газовій фазі формуються хлориди титану різної валентності.

При збільшенні температури їх парціальний тиск зростає за виключенням $TiCl_4$ в якого максимум парціального тиску спостерігається при 1300 K, а надалі відбувається його поступове зниження. В конденсованому стані знаходиться карбід титану TiC , який характеризується стабільністю в усьому інтервалі температур 600 – 1500K.

Для прогнозування отримання певних покриттів на твердих сплавах в систему необхідно додати їх складові елементи. В присутності W і Co в газовій фазі окрім хлоридів титану з'являються хлориди кобальту, також можливе утворення WCl_2 з низьким парціальним тиском.

В конденсованій фазі спостерігається існування вольфраму і карбіду титану. При збільшенні вмісту вуглецю і хлору парціальний тиск хлоридів збільшується, а в конденсованому стані спостерігається утворення карбіду вольфраму і вільного вуглецю.

Проведені розрахунки підтверджують можливість отримання карбідних покриттів на твердих сплавах.

Список літератури

1. Лоскутова Т.В., Сігова В.І., Хижняк В.Г. Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах: Монографія. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 190 с.
2. Loskutova T. Physicochemical Conditions of Boron–Siliconizing of Molybdenum-Based Alloys in Chlorine and Fluorine Medium [Electronic resource] / T. Loskutova, M. Scheffler, V. Ivanov, I. Pohrebova, M. Bobina, N. Kharchenko // Metals 2024, 14(3), 302; <https://doi.org/10.3390/met14030302>

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

*Ситніков В.О., аспірант гр. А-25/МТ; Дегула А. І., доцент,
кафедра ПМ і ТКМ, Сумський державний університет, м. Суми*

Захисні покриття відіграють важливу роль у продовженні терміну служби матеріалів і виробів, запобігаючи їх корозії, зношенню та іншому руйнуванню.

Серед численних методів нанесення захисних покриттів можна виділити кілька основних, які набувають популярності завдяки своїм унікальним характеристикам.

1. Плазмова обробка, яка передбачає використання плазми для нанесення покриттів на поверхню матеріалів. Плазмові покриття відрізняються високою адгезією, стійкістю до корозії та механічним навантаженням. Вони знаходять застосування в авіаційній та автомобільній промисловості, а також у виробництві медичного обладнання.

2. Лазерне нанесення, яке дозволяє точно контролювати процес нанесення покриттів, що забезпечує високу якість та однорідність. Цей метод особливо ефективний для складних геометричних форм та тонких шарів. Лазерне нанесення використовується в електроніці, ювелірній справі та в інших галузях, де потрібна висока точність.

3. Керамічні покриття. Нанесення керамічних покриттів здійснюється через термічне розпилення або електрофорез. Вони широко використовуються в енергетиці, хімічній промисловості та при виробництві автомобілів.

4. Нанопокриття мають унікальні властивості, такі як підвищена стійкість до корозії та зносостійкість. Вони можуть бути застосовані в медицині, електроніці та навіть у текстильній промисловості.

5. Сухе нанесення передбачає використання порошкових матеріалів, які наносяться на поверхню без використання рідин [1]. Сухе нанесення є екологічно чистим варіантом, оскільки виключає використання розчинників і зменшує викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Перспективні методи нанесення захисних покриттів відкривають нові можливості для підвищення якості та довговічності матеріалів у різних галузях промисловості. Успішна інтеграція нових технологій у виробничі процеси може суттєво знизити витрати на обслуговування і ремонт, а також підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку.

Список літератури

1. Kumar, A., Singh, R. (2022). Advances in Coating Technologies for Corrosion Protection: A Review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 19(3), 567-580. DOI: 10.1007/s11998-022-00514-8.

КІНЕТИКА ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ВУГЛЕЦЮ
ТА КАРБІДОУТВОРЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КОРОТКОЧАСНОМУ
НЕСТАЦІОНАРНОМУ НАГРІВІ

*Білоус О. А., доцент кафедри МА і МО; Говорун Т. П., доцент кафедри
ПМ і ТКМ, Сумський державний університет, м. Суми*

Операція легування проводиться під час отримання металевого матеріалу з метою підвищення якості металургійної продукції та металевих виробів. Легуючі елементи спеціально вводять у сталь з метою зміни її структури та властивостей. Процес розчинення карбідів при умові короткочасного нестационарного нагрівання проходить у декілька етапів:

- 1) розчинення з поверхневого адсорбційного шару та навколо поверхні частинок карбіду;
- 2) термічна дисоціація, за якої руйнуються міжатомні зв'язки в карбіді;
- 3) дифузійний масоперенос атомів вуглецю та карбідоутворюючих елементів від поверхні карбіду в аустенітну матрицю [1, 2].

В роботі досліджено кінетику еволюції закономірності розподілу хрому, вуглецю та заліза в аустенітній сталі марки 20X13 навколо частково розчинених карбідів та в місцях їх повного розчинення за нерівноважних умов.

Відомо, що зміна концентрації C дифундууючої речовини в просторі з часом описується другим законом Фіка [1]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right), \quad (1)$$

де $D = \frac{1}{2} b^2 f$ – коефіцієнт дифузії; f – частота переходів дифундууючого атома з одного міжвузольного положення в інше; b – відстань переміщення атома; $\frac{\partial C}{\partial x}$ – градієнт концентрації; t – час.

Диференціальне рівняння (1) для стаціонарних умов $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ з врахуванням сферичної форми карбіду має вигляд

$$\frac{d^2 C}{dr^2} + 2 \frac{dC}{dr} = 0, \quad (2)$$

де r – відстань від центру карбіду до відповідної точки простору, $R < r < \infty$ (R – радіус карбіду).

Після інтегрування рівняння (1) з врахуванням граничних параметрів концентрацій елементів (при $r \rightarrow \infty$, $r \rightarrow R$) та подальшого диференціювання рівняння концентрації (2) dr отримуємо залежність концентрації елемента від відстані до центру карбіду:

$$C = \frac{K_1}{r} + K_2 = \frac{R(C_n - C_0)}{r} + C_0, \quad (3)$$

де K_1 і K_2 – сталі інтегрування; C_0 – початкова концентрація хімічного елемента основи без карбіду; C_n – рівноважна концентрація відповідного хімічного елемента у карбіді і твердому розчині у рівновазі із карбідом Me_xC_y .

Гradient зміни концентрації встановлений за формулою:

$$\frac{dC}{dr} = \frac{-R(C_n - C_0)}{r^2}. \quad (4)$$

Визначення лінійної концентрації елементів в напрямку градієнта концентрації встановлюється за співвідношенням [3]:

$$C_{(r,t)} = (C_n - C_0) \left(\frac{q}{2\sqrt{\pi Dt}} \right) \exp \left[-\frac{r^2}{4Dt} \right] + C_0. \quad (5)$$

де q – потужність миттєвого теплового джерела.

Встановлено, що в умовах короткочасного нагрівання при 1100 °С (3-4 хвилини) вуглець, через велику рухливість, встигає вирівнювати свою концентрацію і практично рівномірно розподіляється у всіх зонах γ -твердого розчину заліза.

Список літератури.

1. Tkadlečková M., Numerical Modelling in Steel Metallurgy / M. Tkadlečková // *Metals*. 2021. Vol. 11, No. 6. P. 885–891. <https://doi.org/10.3390/met11060885>.
2. Sitek W., Modelling and Analysis of the Synergistic Alloying Elements Effect on Hardenability of Steel / W. Sitek, J. Trzaska, W. Gemechu // *Archives of Foundry Engineering*. 2022. Vol. 22, No. 4. P. 102–108. <https://doi.org/10.24425/afe.2022.143957>.
3. Cheiliakh A. P., Mass Transfer and Diffusion Distribution of Elements at Non-Equilibrium Steel 20Cr13 Austenitization / A. P. Cheiliakh, E. G. Fomina, I. M. Oliynyk, Y. A. Cheilyakh // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2020. Vol. 42, No. 2. P. 159–173. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.02.0159>.

ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ ДЛЯ МЕДИЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ

*Гапонова О. П., завідувачка кафедри ПМ і ТКМ;
Торгачов Д. В., студент гр. І-11/ЗМТ-2; Смоленко С. В., аспірант,
кафедра ПМ і ТКМ; Сумський державний університет, м. Суми*

Як відомо, матеріали, що використовуються для виготовлення ортопедичних медичних імплантатів, повинні задовольняти не лише вимогам за механічною міцністю та технологічністю, а також бути корозійностійкими, біосумісними, гемосумісними, не викликати алергічні реакції, інколи мати антибактеріальні властивості тощо [1].

Серед найуживаніших біосумісних металів і сплавів, що здатні тривалий час виконувати функції медичних імплантатів є нержавіючі сталі типу 316L, леговані кобальт-хромові сплави, титан (Ti) і його сплави. Ці сплави традиційно використовуються як фіксатори кісток у протезах колінних і тазостегнових суглобів, ортодонтичних дротах, зубних імплантатів і зовнішніх фіксаторів. Однак, і вони у повній мірі не задовольняють вимог до медичних імплантатів. Наприклад, сталеві імплантати у середовищі організму піддаються корозії, нездатні постійно інтегруватися з тканинами та мають низьку сумісність з кров'ю, викликають алергічні реакції через наявність нікелю у складі [2, 3]. Шляхом вирішення подібних проблем є застосування покриттів для металевих імплантатів, таких як фторапатит [4], безфосфатне біоактивне скло [5], біоактивне скло [4], біокомпозити [6] тощо.

Аморфні металеві сплави добре відомі як «металеве скло» (англ. аббревіатура MG від «metallic glass»), що мають високу механічну міцність, відмінну зносо- і корозійну стійкість та хорошу біосумісність [1]. Вони є перспективними для використання в якості матеріалів для покриттів. Ці сплави демонструють також хорошу адгезію до сталі, що важливо для розробки технології поверхневого оброблення, оскільки покриття та підкладка мають подібну хімічну природу. Хоча існує багато методів нанесення покриттів для формування бажаної геометрії і шорсткості з контрольованими властивостями, процес електроіскрового легування (EIL) є відносно новою, недорогою, екологічною, енергозбережною технологією отримання функціональних покриттів [7, 8]. Процес EIL забезпечує покриття з належним металургійним зв'язком (з високою адгезією), формування аморфної і нанокристалічної структури [7, 9], що надає покриттям унікальних властивостей. Висока шорсткість поверхні (Ra), отримана за допомогою методу EIL, завдяки численним порожнинам може відігравати важливу роль у прикріпленні клітини до імплантату, зв'язуванні із зовнішньою тканиною та сприянні росту кісток [10].

У роботі [11] досліджені EIL покриття з аморфного сплаву Fe₃₇Cr₁₅Mo₂V₂₆C₇Nb₃Si₃Al₆Mn₁ (% ат.) на підкладці з нержавіючої сталі 316L. Дослідження показали, що після обробки формуються якісні

покриття високої щільності та суцільності з доброю адгезією до підкладки. Результати аналізів на біо- і гемосумісність, тесту МТТ показали, що покриття володіють задовільною біосумісністю. Результати свідчать, що досліджений сплав є перспективним для модифікації сталі для клінічного застосування.

Отже, метод ЕІЛ рекомендований як один із способів отримання функціональних покриттів для медичних імплантатів.

Список літератури

1. Niinomi, Mitsuo, ed. *Metals for biomedical devices*. Woodhead publishing, 2019.
 2. S. Prasad, S. Suresh, V. Ratheesh, et al. *Biocompatibility of Metal Matrix Composites Used for Biomedical Applications*, Editor(s): Dermot Brabazon, Encyclopedia of Materials: Composites, Elsevier, 2021, Pp. 474-501. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11834-X>.
 3. J. N. Oliver, Y. Su, X. Lu, et al., Bioactive glass coatings on metallic implants for biomedical applications. *Bioactive Materials*, 2019, Vol. 4. Pp. 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.09.002>.
 4. A. Sharifnabi, M.H. Fathi, B. E. Yekta, M. Hossainilipour, The structural and bio-corrosion barrier performance of Mg-substituted fluorapatite coating on 316L stainless steel human body implant. *Applied Surface Science*, 2014, Vol. 288. Pp. 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.10.029>.
 5. J. Chakraborty, S. Sengupta, S. Ray, et al., Multifunctional gradient coatings of phosphate-free bioactive glass on SS316L biomedical implant materials for improved fixation. *Surface and Coatings Technology*, 2014, Vol. 240. Pp. 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.072>.
 6. Sh. M. Asl, M. Ganjali, M. Karimi, Surface modification of 316L stainless steel by laser-treated HA-PLA nanocomposite films toward enhanced biocompatibility and corrosion-resistance in vitro. *Surface and Coatings Technology*, 2019, Vol. 363. Pp. 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.02.052>.
 7. Ch. Qin, Q. Hu, Y. Li, et al., Novel bioactive Fe-based metallic glasses with excellent apatite-forming ability. *Materials Science and Engineering: C*, 2016, Vol. 69. Pp. 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.07.022>.
 8. O. Haponova, V. Tarel'nyk, S. Marchenko, et al., (2024). The Development of Nanostructuring Method Metal Surfaces by Electrospark Alloying. In: Pogrebnjak, A.D., Bing, Y., Sahul, M. (eds) *Nanocomposite and Nanocrystalline Materials and Coatings. Advanced Structured Materials*, vol 214. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2667-7_7
 9. M. F. Hasanabadi, F. M. Ghaini, M. Ebrahimi, H.R. Shahverdi, Production of amorphous and nanocrystalline iron based coatings by electro-spark deposition process. *Surface and Coatings Technology*, 2015, Vol. 270. Pp. 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.03.016>.
 10. Zhu, Kr., Jiang, W., Wu, JI. et al. Effect of Mo on properties of the industrial Fe–B-alloy-derived Fe-based bulk metallic glasses. *Int J Miner Metall Mater*, 2017, 24, pp. 926–930. <https://doi.org/10.1007/s12613-017-1479-1>
 11. A. Esmaeili, S. A. Ghaffari, M. Nikkhah, et al. Biocompatibility assessments of 316L stainless steel substrates coated by Fe-based bulk metallic glass through electro-spark deposition method. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2021, Vol. 198, 111469.
- Робота виконана відповідно до держбюджетної НДР (ресстр. № 0124U000539).*

ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД НІТРОЦЕМЕНТАЦІЇ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

*Охріменко В. О., аспірант; Тарельник Н. В., докторантка,
старший науковий співробітник, кафедра ПМ і ТКМ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Підвищення зносостійкості та довговічності металевих деталей є одним із ключових завдань сучасного матеріалознавства та машинобудування. Для зміцнення робочих поверхонь сталей широко застосовуються методи хіміко-термічної обробки, серед яких нітроцементация є однією з найбільш ефективних технологій. Вона дозволяє створювати зміцнені поверхневі шари, що забезпечують високу стійкість до зношування та корозії, що особливо важливо для деталей, які працюють у складних експлуатаційних умовах. Однак, дифузійні методи нітроцементации мають низку недоліків, зокрема значні енергозатрати, необхідність високотемпературної обробки всієї деталі та тривалий час насичення поверхні азотом.

Альтернативним підходом, що дозволяє мінімізувати ці недоліки, є електроіскрове легування (ЕІЛ) – технологія, яка забезпечує локальне зміцнення поверхні без впливу на мікроструктуру основного металу.

Мета роботи – вдосконалити технології підвищення якості поверхні виробів, які виготовленні з конструкційних сталей, за допомогою нового способу нітроцементации на основі ЕІЛ.

Процес нанесення покриття складався з двох етапів: спочатку наносився підшарок алюмінію електродом при енергії розряду 0,13–3,40 Дж. Далі на оброблену поверхню наносилася азотомісна паста, після чого проводилося електроіскрове легування графітовим електродом за аналогічних режимів. Як підкладку використовували сталі 20 і 40.

Для дослідження покриттів застосовували методи оптичної металографії, діюметричний аналіз, рентгеноструктурний аналіз.

Дослідження показали, що покриття мають шарувату структуру – приповерхневий зміцнений шар, дифузійна зона і матеріал підкладки. Проведені дослідження показали, що товщина зміцненого шару та дифузійної зони зростає із підвищенням енергії розряду в результаті інтенсивного масоперенесення. Однак, шорсткість поверхні при цьому зростає. Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що запропонована методика ЕІЛ сприяє формуванню нітридних фаз Fe_4N , Fe_3N або Fe_2N . Тому фіксується збільшення твердості поверхневого шару.

Висновки: Запропонований метод нітроцементации за допомогою електроіскрового легування (ЕІЛ) скорочує час насичення азотом і покращує структуру покриття, що робить його придатним для обробки відповідальних деталей.

Робота виконана відповідно до держбюджетної НДР (реєстр. № 0124U000539).

ДОСЛІДЖЕННЯ АЗОТОВМІСНИХ ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ, НА СТАЛЬНІЙ ПІДКЛАДЦІ

*Гапонова О. П., завідувачка кафедри ПМ і ТКМ; Лапоног Г. П., аспірант;
Ходаков О. О. студент гр. І-22/2мт-3, кафедра ПМ і ТКМ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Підвищення параметрів якості поверхневих шарів відповідальних деталей динамічного обладнання, що працює в складних умовах вимагає застосування нових методів модифікування поверхні та синтезу покриттів. Одним із таких є електроіскрове легування. Цей метод дозволяє синтезувати на металевих поверхнях покриття зі струмопровідних матеріалів, таких як W, Cr, Ti та їх сплави, тверді сплави тощо. Однак, ці матеріали не завжди задовольняють вимогам до поверхні, оскільки є дорогими, погано переносяться на поверхню. Крім того, покриття з твердих сплавів підвищують твердість і зносостійкість, але не забезпечують корозійну стійкість, жаростійкість, триботехнічні властивості тощо. Покриття на основі струмонепровідних матеріалів (на основі B, N, S тощо) електроіскровим легуванням складно отримати, адже необхідно виготовляти електроди-інструменти (ЕІ) за спеціальними технологіями порошкової металургії та іншими способами. Тому нами запропонований новий спосіб формування азотовмісних покриттів на основі ЕІЛ, який полягає у нанесенні пасти на основі вазеліну, що містить сечовину, суцільним шаром 0,2-0,3 мм. Як ЕІ пропонувано використовувати дріт зі сталі С40.

Для дослідження покриттів застосовували методи оптичної металографії, дюрOMETричний аналіз, рентгеноструктурний аналіз.

Дослідження виконані на вуглецевій сталі С40. Для всіх досліджених параметрів ЕІЛ структура покриттів складається з трьох областей: верхнього «білого шару», дифузійної зони і підкладки. ДюрOMETричний аналіз показав, що мікротвердість поступово зменшується від верхнього шару до основи, отже при ЕІЛ формуються шари з високою адгезією до оброблюваного матеріалу. Мікротвердість зміцненого шару становить близько 10 ГПа при енергії розряду 0,52 Дж. Товщина шарів зростає зі збільшенням енергії розряду. Мікротвердість, суцільність і шорсткість поверхні шарів також зростають. Фазовий склад покриттів представлений ОЦК твердим розчином і нітридом заліза.

Таким чином, технологія азотування ЕІЛ є ефективною і забезпечує насичення поверхні сталі азотом. Такий спосіб поверхневого оброблення можна рекомендувати як заміну дифузійних покриттів на сталях для застосування у виробництві.

*Робота виконана відповідно до держбюджетної
НДР (реєстр. № 0124U000539).*

ПОЛІМЕРНІ ПЛІВКИ: ВИДИ, СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ

*Марченко С. В., доцент; Марченко К. С., аспірантка гр. А-25/МТ,
кафедра ПМ і ТКМ, Сумський державний університет, м. Суми*

Полімерна плівка – це тонкий шар матеріалу, створений з полімерів, які можуть бути як синтетичними (наприклад, поліетилен, поліпропілен), так і природними (наприклад, полісахариди). Вона може бути гнучкою або жорсткою залежно від складу та методу виробництва.

Полімерні плівки широко застосовуються у багатьох галузях: від харчової промисловості до електроніки та медицини.

Полімерні плівки є незамінними завдяки своїм властивостям – гнучкості, прозорості, міцності та стійкості до хімічних речовин. Їх виготовляють з різноманітних полімерів.

Основні види полімерів, що використовуються для виготовлення плівок:

- поліетилен (PE) - найпоширеніший матеріал для плівок; поліетилен низької щільності (LDPE) – для гнучких плівок, та поліетилен високої щільності (HDPE) – для міцніших і жорсткіших плівок;

- поліпропілен (PP) - міцний, стійкий до температури. Біаксіально-орієнтований (BOPP) або неорієнтований (CPP) поліпропілен товщиною 15-40 мікрон у вигляді плівки застосовується для виготовлення упаковки для харчових продуктів, етикеток, конденсаторних плівок.

- полівінілхлорид (PVC) - гнучкий, прозорий, добре розтягується. Використовується для харчової упаковки, будівельних плівок, віконних покриттів.

- поліестер (PET) - стійкий до розтягнення, прозорий, жаростійкий. З нього виготовляють упаковки для напоїв, електроізоляцію, магнітні стрічки.

- полікарбонат (PC) - міцний, прозорий, з високою термостійкістю. Виготовляються оптичні носії, наприклад, диски CD/DVD, плівки для електроніки.

- полілактид (PLA) - біорозкладний полімер на основі кукурудзяного крохмалю. Екологічно чиста упаковка, одноразовий посуд виготовляють з полілактидних плівок.

- поліамід (PA) - міцний, стійкий до хімічного впливу. Застосовується у вигляді плівок для вакуумної упаковки, теплової обробки.

- фторопласти (наприклад, PTFE – тефлон) - хімічно стійкі, стійкі до високих температур. Фторопласти слугують чудовим полімером для виготовлення промислових та електротехнічних плівок [1].

Полімерні плівки виготовляються за допомогою різних технологій, які залежать від типу полімеру та бажаних властивостей кінцевого продукту.

Основними методами є екструзія, де полімер розплавляється і видавлюється через щільну фільтру; каландрування, в процесі якого розплавлений полімер пропускається між охолоджуваними валками, що дозволяє отримати плівки із заданою товщиною та гладкою поверхнею; формування з розчину, де полімер розчиняється у відповідному розчиннику, а потім наноситься на гладку поверхню для висихання: такий спосіб використовується для плівок, які не витримують високих температур екструзії; лиття під тиском - в процесі полімер нагрівається до рідкого стану і заливається у форму під тиском, такий метод підходить для створення спеціалізованих плівок [2]; біорозкладні плівки виготовляються з полімерних композицій, таких як полівініловий спирт або модифіковані полісахариди, цей метод спрямований на створення екологічно чистих матеріалів.

Вуглецеві нанотрубки (ВНТ) значно покращують властивості полімерних плівок завдяки своїм унікальним фізико-хімічним характеристикам. Додавання нанотрубок підвищує міцність на розрив і еластичність плівок [3]. Це особливо корисно для матеріалів, які використовуються в умовах високих навантажень. ВНТ додають полімерним плівкам електропровідність, що робить їх придатними для використання в електроніці, наприклад, у сенсорних екранах або антистатичних покриттях. Завдяки високій теплопровідності нанотрубок, плівки стають більш стійкими до перегріву, що важливо для електронних пристроїв. Нанотрубки зменшують проникність плівок для газів і вологи, що покращує їхні захисні властивості, наприклад, у харчовій упаковці.

Полімерні плівки з нанотрубками мають підвищену стійкість до подряпин і механічного зношування. ВНТ можуть змінювати оптичні характеристики плівок, наприклад, робити їх прозорими або, навпаки, поглинати світло.

Таким чином, модифікування полімерних плівок вуглецевими нанотрубками робить їх перспективними матеріалами для застосування в авіації, медицині, електроніці та інших високотехнологічних галузях.

Список літератури

1. Сучасні полімерні матеріали та їх застосування: методичні вказівки / О. Е. Марцинко. – Одеса, 2021. – 44 с.
2. Нанокompозитні плівки з комбінованим наповненням вуглецевими нанотрубками та нанокристаллами CuS | Academic Journals and Conferences. *Academic Journals and Conferences* /. URL: <https://science.lpnu.ua/schmt/all-volumes-and-issues/volume-841-2016/nanokompозитni-plitki-z-kombinovanim-napovnennyam> (дата звернення: 10.03.2025).
3. Polymer nanocomposite films embedded carbon nanotubes | Academic Journals and Conferences. *Academic Journals and Conferences* /. URL: <https://science.lpnu.ua/schmt/all-volumes-and-issues/volume-787-2014/polymer-nanocomposite-films-embedded-carbon-nanotubes> (дата звернення: 10.03.2025).

НАНОСТРУКТУРОВАНІ ПОКРИТТЯ РІЗНИХ СИСТЕМ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

*Молнар Ю. О., студентка гр. МТ. м-41; Ханюков К. С., аспірант;
Варакін В. О., аспірант; Говорун Т. П., доцент, кафедра ПМ і ТКМ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Нанесення наноструктурованих покриттів із різних елементів є однією з найперспективніших технологій для підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів для різних виробів. Головною перевагою таких покриттів є можливість створення унікальних комбінацій фізико-механічних властивостей. Це дозволяє поєднувати високу зносостійкість, механічну міцність, корозійну стійкість і термічну стабільність. Завдяки своїй наношаровій структурі такі покриття можуть значно підвищувати довговічність виробів із матеріалів, які експлуатуються в екстремальних умовах, наприклад, у авіаційній та космічній техніці, біомедичних імплантатах та ріжучих інструментах. Розвиток технологій нанесення покриттів, зокрема іонно-плазмового осадження, електроосадження та використання ультразвукової модуляції, дозволяє покращувати якість та експлуатаційні характеристики самих покриттів.

Система TiN/CrN є однією з найбільш вивчених у сфері багатошарових покриттів [1]. Покриття TiN/CrN отримують методом вакуумно-дугового осадження, що забезпечує формування чітко виражених чергувань шарів з товщиною приблизно 20 нм кожен. Наноструктуровані багатошарові покриття TiN/CrN отримували методом вакуумно-дугового осадження в установці "Булат-6". Катоди виготовляли з титану (BT1-0) та малолегованого хрому (BX1-17), активним газом виступав азот (99,95 %). Осадження проводили на підкладки зі сталі 18N10T, які були попередньо відшліфовані та відполіровані стандартними методами. Перед нанесенням покриття поверхня очищувалася бомбардуванням іонами хрому. Потім здійснювали одночасне випаровування обох матеріалів і осадження шарів TiN та CrN з обох сторін підкладки [1].

Авторами [1] було встановлено, що поєднання TiN і CrN забезпечує оптимальну твердість та зносостійкість. Важливою перевагою цих покриттів є їх висока стійкість до динамічних навантажень, що дозволяє використовувати такі покриття на різальних інструментах для обробки твердих матеріалів. Використання імпульсного потенціалу зменшує внутрішні кристалічні дефекти, що знижує мікрореформації та підвищує механічні характеристики покриттів. Покриття TiN/CrN, отримані за оптимальних технологічних параметрів, демонструють високу твердість (до 57 ГПа) та зносостійкість. Завдяки вакуумно-дуговому осадженню, покриття TiN/CrN має високу адгезію до підкладки, що запобігає його відшаруванню при механічних навантаженнях. Додавання у процесі осадження легуючих елементів (наприклад, алюмінію або кремнію) сприяє покращенню механічної міцності та зносостійкості покриття [1].

Дослідження [2] про електроосаджені покриття на основі Ni та Co, демонструють, що багатошарові структури, створені шляхом чергування шарів різного складу, мають значно кращу корозійну стійкість, ніж однорідні покриття. Було показано, що оптимальне покриття (Ni-Co)_{2/2/150}, яке складається зі 150 шарів, має в 11 разів вищу корозійну стійкість порівняно з однорідним Ni-Co покриттям. Такий ефект пояснюється збільшенням кількості меж між шарами, що ускладнює поширення корозійних процесів. Використання ультразвуку під час осадження позитивно впливає на морфологію покриття, сприяючи зменшенню розміру зерен, підвищенню однорідності та поліпшенню адгезії до підкладки. Багатошарові Ni-Co покриття мають вищу корозійну стійкість через модульовану зміну складу, що забезпечує довговічність покриттів навіть у агресивних середовищах. Оптимальне число у 150 шарів забезпечує максимальний захист від корозії.

Наноструктуровані покриття є перспективними матеріалами, які відкривають нові можливості для покращення властивостей різних поверхонь. Їх застосування сприяє розвитку технологій у різних галузях, забезпечуючи підвищену ефективність та довговічність виробів.

Система TiN/CrN є перспективною для застосування у ріжучих інструментах, авіаційних компонентах та біомедичних пристроях завдяки її високій твердості, термостійкості та зносостійкості. Подальший розвиток цієї системи можливий через оптимізацію наношарової структури, додавання легуючих елементів для покращення стійкості до окислення та розширення біомедичних застосувань. Система Ni-Co демонструє високі антикорозійні та механічні характеристики, що робить її придатною для використання в агресивних середовищах, електроніці та медичних приладах. Оптимізація процесу електроосадження, впровадження наночастинок оксидів металів та дослідження імпульсного режиму нанесення сприятимуть покращенню довговічності та функціональності покриттів [1-2].

Комбінування сучасних методів осадження та модифікації покриттів дозволить отримувати покриття з покращеними експлуатаційними характеристиками. Іонно-плазмові, лазерні та магнетронні методи можуть забезпечити ще більш рівномірне нанесення покриттів, покращуючи їхню адгезію та довговічність. Подальший розвиток досліджень має бути спрямований на вдосконалення методів нанесення покриттів, модифікацію їхнього складу та адаптацію до нових галузей застосування.

Список літератури

1. Соболев О., Андреев А., Столбовий В. Структурна інженерія багатошарової системи TiN/CrN, отриманої вакуумно-дуговим випаровуванням. Журнал нано-та електронної фізики. 2015. Т. 7. С. 61–68.
2. Shetty A. R., Chitharanjan Hegde A. Ultrasound induced multilayer Ni-Co alloy coatings for better corrosion protection. Surface and Coatings Technology. 2017. Vol. 322. P. 99–107.

ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ZrN В УМОВАХ МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ

Пахненко Д. В., аспірантка; Ханюков К. С., аспірант; Варакін В. О., аспірант; Говорун Т. П., доцент; кафедра ПМ і ТКМ, Сумський державний університет, м. Суми

Методи іонно-плазмового розпилення характеризують направленість потоку кластерів, що утворюють покриття, і в залежності від умов проведення процесу призводить до різного структурного стану сформованих покриттів. Осадження наноструктурованих покриттів можливе з використанням покращеного вакуумного обладнання, отриманні інформації про процес формування покриття при осадженні із застосуванням мікроскопії та аналізу його складу.

Управління структурою, фазовим складом і механічними властивостями отриманих іонно-плазмових покриттів можливо при оптимізації технологічних процесів осадження, встановленні зв'язків із структурою і властивостями покриттів [1].

Покриття на основі ZrN формували на установці ВУП-5М методом магнетронного розпилення з двох магнетронів із мішенями цирконію марки Э110. Нанесення покриттів відбувалося на поверхні підготовлених заздалегідь зразків із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Для збільшення адгезійної міцності покриттів ZrN попередньо осаджували підшар із цирконію.

Морфологічні дослідження сформованих покриттів показали, що на його поверхні при всіх співвідношеннях газів формуються структурні утворення у вигляді смуг різної протяжності (рис. 1). Мінімальна величина об'ємних утворень відповідає співвідношенню $N_2/Ar = 40/60$ %.

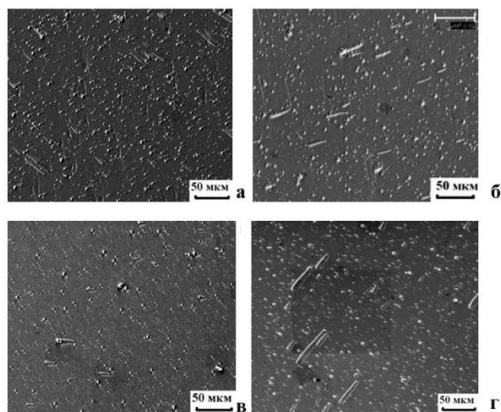


Рисунок 1 – Структурні утворення в вигляді полос на поверхні покриттів основі ZrN, сформованих при різному співвідношенні реакційного і інертного газів N_2/Ar , %: а – 30/40; б – 35/65; в – 40/60; г – 50/50

З використанням рентгенофазового аналізу, отриманих дифрактограм виявлено (рис. 2), що зміна відсоткового співвідношення азоту та аргону у газовій суміші не впливає на фазовий склад покриттів основи ZrN.

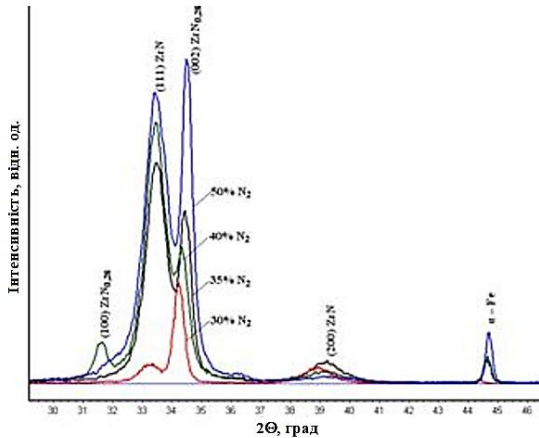


Рисунок 2 – Порівняльний спектр фрагментів дифрактограм зразків покриттів на основі ZrN, отриманих методом магнетронного розпилення при різному співвідношенні газів аргону і азоту, що подаються: N₂/Ar - 40/70% = 0,43, 45/55% = 0,53, 50/70% = 0,77, 50/50% = 1,00

Результати морфологічних досліджень при великому збільшенні дозволили встановити стадії росту покриттів на основі ZrN та їх різні структурні стани, що формуються в нерівноважних умовах магнетронного розпилення при зміні концентрації реакційного газу – азоту. Специфіка структуроутворення покриттів в умовах магнетронного розпилення така, що на початковій стадії відбувається формування глобулярних утворень, а на наступних стадіях глобулярних структур. Особливості будови покриттів на кожному етапі відображають як фундаментальні властивості своєрідних «двовимірних» термодинамічних систем, так і конкретні властивості осаджуваної речовини та особливості різних факторів його взаємодії з матеріалом підкладки. Встановлено, що анізотропія швидкостей формування покриттів ZrN магнетронним розпиленням за різними напрямками велика і, в результаті, формування для різних ділянок покриттів призводить до утворення різних поверхневих структур: дендритної і фрактальної.

Список літератури

1. Parviz Mohamadian Samim. Nanoscale architecture of ZrN/CrN coatings: microstructure, composition, mechanical properties and electrochemical behavior / Parviz Mohamadian Samim, Arash Fattah-alhosseini, Hassan Elmkhah, Omid Imantalab // Journal of Materials Research and Technology. 2021. Vol. 15. Pages 542-560. Crossref DOI link: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.018>.

СКЛАД ТА СТРУКТУРА ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛІ 45 ПІСЛЯ ДВОСТАДІЙНОГО ХІМІКО-ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Піменов М. О., студент гр. І-11/ІМТ, Сумський державний університет, м. Суми; Дудка В. О., студент гр. НМЗ1-м, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ; Кайдаш Д. В., аспірант, Сумський державний університет, м. Суми; Кононенко Я. А., аспірант НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ; Погребова І. С., професор кафедри ТЕХВ, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ

В сучасній літературі ведеться інтенсивний пошук нових способів та технологій модифікації поверхневих шарів металів та сплавів [1].

Метою даної роботи є дослідження структури, та складу захисних покриттів на сталі 45, отриманих шляхом поєднання електрохімічного нікелювання з наступним комплексним дифузійним хромоалітуванням.

Покриття наносили на сталь 45 після електрохімічного нікелювання з водних електролітів. Нікелювання здійснювали в розчині сірчанокислового нікелю ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), в який, для підвищення електропровідності додавали сірчанокислій натрій (Na_2SO_4) і сірчанокислій магній (MgSO_4). Процес здійснювали при постійному струмі 3 A/дм^2 за температури 40°C . Комплексне дифузійне хромоалітування проводили порошковим контактним методом в насичуючій сумішші наступного складу, % мас.: $40 (\text{Cr}) + 10 (\text{Al}) + 47 (\text{Al}_2\text{O}_3) + 4 (3 \text{ NH}_4\text{Cl} + 1 \text{ NiCl}_2)$. Процес проводили в закритому реакційному просторі при температурі 1050°C , протягом 4 годин.

Визначено, що після комплексного хромоалітування сталі 45 з попередньо нанесеним шаром на основі нікелю товщиною 20 мкм на поверхні формується покриттів загальною товщиною 35 – 45 мкм. Внаслідок такої двостадійної обробки на поверхні зразків формується гетерогенне покриття. На зовнішній поверхні формується шар сірого кольору, в якому спостерігаються включення більш світлого, сірого кольору. Вважалось, що на поверхні утворились тверді розчини впровадження Cr, Ni, Al в Fe і CrN. Сірі включення відповідають майже чистому хрому. Наступним розташовано шар білого кольору з темними, голкоподібними включеннями. Голкоподібні включення відповідають фазі з підвищеним вмістом кисню (до 45,9 %мас.). Отримані включення були ідентифіковані нами як складні оксиди типу шпінелі за участю хрому, алюмінію та заліза.

Прогнозується що сформовані в наслідок двостадійної хіміко-термічної обробки покриття на поверхні сталі 45 можуть бути перспективними для захисту виробів від високотемпературної газової корозії.

Список літератури

1. A.I. Dehula et al., J. Nano- Electron. Phys. 16 No 4, 04031 (2024)
[https://doi.org/10.21272/jnep.16\(4\).04031](https://doi.org/10.21272/jnep.16(4).04031)

ПІДВИЩЕННЯ ЖАРОСТІЙКОСТІ КАРБОНІЛЬНОГО НІКЕЛЮ

Назаренко І. В., аспірант гр. А-25/МТ, Сумський державний університет, м. Суми; Лоскутова Т. В., професор кафедри ФМ та ТО, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ; Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, Сумський державний університет, м. Суми; Дацюк О. Е., зав. лаб. електронної та оптичної мікроскопії НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ

Нанесення захисних покриттів [1, 2] дозволяє збільшити термін експлуатації готового виробу крім того підвищити характеристики і властивості поверхні готового виробу при цьому досягти аналогічних результатів в комбінації із заміною матеріала основи. Вважається, що ці методи дозволяють значно знизити обсяг споживання матеріалів основи.

В роботі була реалізована хіміко-термічна обробка карбонільного нікелю. Захисні покриття отримували двома способами. Перший спосіб – дифузійне хромоалітування. Насичення реалізовували контактним методом при температурі 1050°C впродовж 4 годин. Другий спосіб складався з двох послідовних етапів: на першому етапі на нікель був нанесений шар (Ti, Zr)N методом фізичного осадження з газової фази; на другому етапі проводили дифузійне контактне хромоалітування при 1050°C впродовж 4 годин. В роботі реалізовували дифузійне хромоалітування реалізовували контактним порошковим методом в контейнерах з плавким затвором. Насичуюча суміш під час дифузійної металізації була наступного складу: Cr(40% мас); Al(15% мас); Al₂O₃(40% мас); NH₄Cl(5% мас).

Зона сполук, яка отримана на нікелі після хромоалітування за прийнятих умов хіміко-термічної обробки, складається з шару фази β – NiAl товщиною 50,0 – 52,0 мкм та шару сполуки Ni₃Al товщиною 3,0 – 5,0 мкм. Шар β – NiAl можна розділити по структурі в оптичному мікроскопі на дві зони. Верхня зона містить 60,0 – 70,0% мас. нікелю, має світло-блакитний колір. Нижня, світло-жовта містить біля 80,0% мас. нікелю. Товщина обох зон практично однакова і становить 24,0 – 26,0 мкм. Хромоалітоване покриття на нікелі з нанесеним шаром (Ti, Zr)N складається з шарів фази β – NiAl, фази Ni₃Al, оксиду Al₂O₃ і власне сполуки (Ti, Zr)N. Частина шару останньої має вигляд або вигнутої від поверхні до основи зруйнованої полоси, або окремих часток в шарі фази NiAl.

Максимальна мікротвердість в отриманих покриттях була встановлена для шарів (Ti, Zr)N – 22,5 – 23,5 ГПа; для шару на основі фази NiAl (світло-блакитна зона) – 5,5 – 7,5 ГПа; NiAl (світло-жовта зона) – 4,5 – 5,0 ГПа. Останнє може бути пов'язане з присутністю в отриманих покриттях хрому.

Жаростійкість зразків із захисними покриттями оцінювали за зміною маси зразків після їх окислення при 1000°C протягом 100 годин за природної аерації.

Випробування на жаростійкість не вплинули на мікротвердість шару (Ti, Zr)N та зменшило мікротвердість NiAl і становить світло-блакитної – 5,0 – 7,0; світло-жовтої – 4,0 – 4,5 ГПа.

Показано, що після окислення відбувається зростання товщини шару Ni₃Al з 20 до 25,0 – 30,0 мкм на хромоалітованих зразках, до 10,0 – 15,0 мкм на хромоалітованих з шаром (Ti, Zr)N (рис.1). Аналіз отриманих даних показав, що при 50 годинах випробувань більш високі захисні властивості мають хромоалітовані покриття.

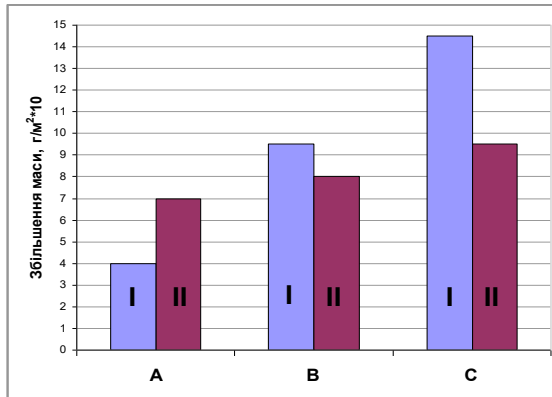


Рис.1 Збільшення маси при окисленні хромоалітованого нікелю (I), хромоалітованого нікелю з шаром (Ti, Zr)N (II); час окислення 50 годин (А), 75 годин (В), 100 годин (С); температура - 1000°С.

При збільшенні часу окислення, покриття з (Ti, Zr)N, окислюються з меншою швидкістю. Висока вірогідність того, що в перші 50 годин з киснем активно взаємодіє не тільки поверхня покриття, але і включення (Ti, Zr)N. В наступні часи проникнення кисню в покриття гальмується сполукою (Ti, Zr)N.

Отримані і досліджені в роботі багатозарові хромоалітовані покриття за участю сполуки (Ti, Zr)N на нікелі за структурою, властивостями можуть бути перспективними при захисті виробів із нікелевих сплавів, які експлуатують в умовах дії високих температур, агресивних середовищ, контактних навантажень.

1. O.E. Datsiuk, V.G. Hignjak, T. V. Loskutova, et al., Phase and Chemical Composition of Diffusion Titanium-Aluminum-Chromium Coatings Based on XH55BMTKIO Alloy. J. Nano- Electron. Phys. 10 No 3, 03015 (2018)

2. Visuttipitukul P., Limvanutpong N. and Wangyao P. Aluminizing of nickel-based super alloys grade in 738 by powder liquid coating. Materials transactions. – 2010. – vol.51. – №5. – P. 982 – 987.

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНОГО ФОРМУВАННЯ У ЛИВАРНЬОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Смірнов П. С., студ. гр. 406-л; Гальченко І. Г., голова циклової комісії;
Павленко В. В., ст. викл., ВСП «Машинобудівний фаховий коледж
Сумського державного університету», м. Суми*

Сьогодні основним способом отримання литих заготовок є лиття в одноразові піщано-глинисті форми. Він потребує великих витрат формувальних пісків, глин, інших зв'язувальних матеріалів, витрат на транспортування. Також піщані формувальні суміші є основним джерелом пиловиділення у ливарних цехах і утворюють засмічення у відливках.

Уникнути цих недоліків дозволяє застосування для виготовлення форм металевого піску, а для зв'язування його частинок між собою – магнітного поля. Лиття в магнітні форми є одним з різновидів способу лиття за газифікованими моделями.

Спосіб отримання відливок за газифікованими моделями у магнітних формах набуває все більшого застосування у промисловості. Він полягає у тому, що модель відливки з пінополістиролу засипають металевим піском у контейнери і піддають вібрації. Контейнер поміщають у магнітне поле між двома полюсами електромагніту; металеві дробинки намагнічуються і міцно зчіплюються. Таким чином, магнітне поле відіграє зв'язувальну роль. Під час заливки металу модель газифікується, і порожнина форми заповнюється розплавом. Після охолодження відливки магнітне поле вимикають, дріб розмагнічується і висипається з контейнера.

Для виготовлення форми використовують різні феромагнітні матеріали: чавунний і сталевий дріб, залізні порошки. Після охолодження і очистки їх можна використовувати повторно. Для створення потужного постійного магнітного поля застосовують спеціальні пристрої.

Противагарне покриття на моделях, підведення металу до нижньої частини відливки, рівномірне ущільнення дробу в об'ємі контейнера і створення необхідного магнітного потоку дозволяє одержати якісні заготовки.

Магнітну формовку можна застосовувати практично для будь-якого виду виробництва, вона легко піддається автоматизації. Цей спосіб дозволяє знизити собівартість литва, витрати на матеріали, трудовитрати, транспортні витрати. Підвищення точності відливок дозволяє зменшити припуски на механічне оброблення.

Таким чином, магнітне формування порівняно з традиційними способами лиття сприяє підвищенню якості відливок: зменшуються ливарні напруження, усувається причина появи гарячих тріщин у відливках, утворюється дрібнозерниста структура, покращуються механічні властивості за рахунок підвищеної швидкості охолодження; усуваються засмічення, піщані раковини, перекося і різностінність заготовок з огляду на відсутність піщаних сумішей і нероз'ємні форми; покращуються умови праці.

**СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ,
КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»**

РАЦІОНАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ Т-ПОДІБНОГО З'ЄДНАННЯ, ВИКОНАНОГО З ШАРУВАТОГО ВУГЛЕПЛАСТИКА

*Жигилій Д. О., доц.; Шульга Б. Є., студ. гр. ІМ-11/3, кафедра
комп'ютерної механіки ім. В. Марцінковського,
Сумський державний університет, м. Суми*

Ключовим елементом конструкцій спільного затвердіння є Т-подібне з'єднання, яке формує основний механізм передачі навантаження між обшивкою та ребром жорсткості в вузлах. Типове Т-подібне з'єднання складається з фланця, перетинки, зони перехідної поверхні та основної оболонки. Зона перехідної поверхні зазвичай виготовляється з використанням того ж самого матеріалу, який використовується для Т-подібного з'єднання. Важливо визначати силові реакції Т-подібних з'єднань, для врахувати змін деформацій в конструкції. Це традиційно скріплені з'єднання, здатні передавати навантаження при зсуві. Іноді ці з'єднання зазнають тягових навантажень, що призводить до появи позаплощинних напружень, таких як міжшарові напруження та напруження зсуву на межі розділу елементів жорсткості обшивки та в зоні радіусної виточки. Ці напруження зосереджені в зоні зрізу, що робить їх найслабшою ланкою.

Розглянуто Т-подібне з'єднання, виконане з шаруватого вуглепластика, що відповідає стандартному матеріалу – вуглепластиковому тканому препрегу з модулем повздовжньої пружності у головному напрямку на 395 ГПа. Основна оболонка має стільникове ядро окутане шаруватим вуглепластиком. Розв'язано статично структурну задачу, твердотільна та скінченоелементна моделі якої виконані у ANSYS Workbench з залученням ACP(Pre) (рис. 1). Основну оболонку жорстко затиснено за контуром. З'єднання навантажено кінематично лінійними переміщеннями за верхньою кромкою перетинки перпендикулярно до кромки вбік та нормально до основної оболонки.

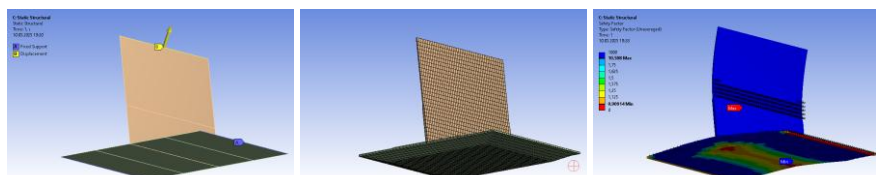


Рисунок 1 – Твердотільна та скінчено елементна схеми та коефіцієнт запасу міцності за критерієм Tsai -Vu Т-подібного з'єднання за умов кінематичного навантаження

В роботі досліджено залежність напружено деформованого стану від кінематичного навантаження Т-подібного композитного з'єднання. Отримано реакції сили та моменти в затисненні у відповідь на комбінації переміщень і отримано жорсткості. Міцність з'єднання оцінено на базі критерія міцності Tsai – Vu і побудований розподіл коефіцієнтів запасу міцності (рис.1).

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ СЕНДВІЧЕВОЇ КОМПЗИТНОЇ ПЛИТИ НА ПРОСТРІЛІ

Жигилій Д. О., доц.; Бельський І. С. студ. гр. ІМ-11/3, кафедра комп'ютерної механіки ім. В. Марцінковського, Сумський державний університет, м. Суми

Захист від зовнішніх високошвидкісних снарядів є однією з найважливіших вимог до різних елементів конструкції. Балістичний удар може призвести до пробивання цілі снарядом. Балістичний удар – це високошвидкісний удар, викликаний джерелом пострілу малої маси та високої швидкості. Захист від балістичних ударних навантажень є критичною проблемою при проектуванні броні, амортизаторів, а також при розробці аерокосмічних, морських, автомобільних і цивільних будівельних конструкцій. Останнім часом дослідження балістичних ударних характеристик полімерних матричних композитів становлять особливий інтерес. Параметри маси, форми, розмірів і швидкостей снаряда, а також геометрія та механічні властивості цілі впливають на ефективність балістичного удару складених цілей. У аерокосмічній та оборонній промисловостях основною метою є зменшення ваги конструкції для використання за призначенням. Вплив товщини цілі на ефективність балістичного удару стає важливим питанням для подальших досліджень. Коли відбувається балістичний удар, різні типи хвиль напружень поширюються в уражених тілах.

Розглянуто задачу балістичної взаємодії уламка з високою кількістю руху, що стикається з жорстко затисненою по краях сандвічевою композитною плитою. Ця плита має стільникове ядро окутане шаруватим вуглепластиком. Розв'язано задачу явної динаміки, твердотільну та скінчено елементну моделі якої, виконані у ANSYS Workbench з залученням ACP(Pre), подано на рис. 1. Жорстко затиснену по контуру пластину ударяє сталевий уламок зі швидкістю 500 м/с.

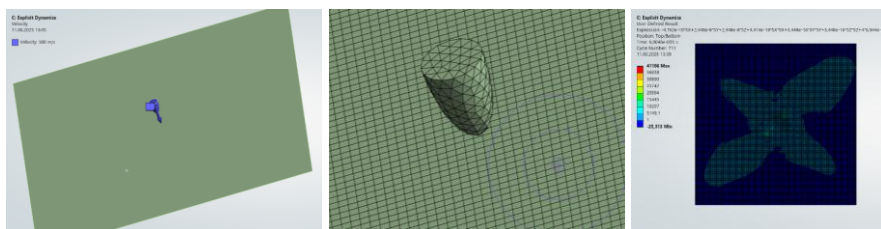


Рисунок 1 – Твердотільна та скінчено елементна схеми та коефіцієнт запасу міцності за критерієм Верещаки С.М.

В роботі досліджено динаміку напружено деформованого стану при балістичному навантаженні сандвічевої композитної плити. Оцінено міцність композитної плити на базі уточненого тривимірного поліноміального критерію міцності за С. М. Верещакою.

ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПІРНО-ВРІВНОВАЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

*Загорулько А. В., завідувач кафедри комп'ютерної механіки
ім. В. Марцинковського; Ванжула А. Ю., аспірант групи А-45/МБ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Одним із способів врівноваження осьової сили у відцентрових багатоступінчатих насосах є використання автоматичних систем осьового врівноваження. При оптимізації конструкції автоматичних врівноважуючих пристроїв вони можуть виступати як повноцінне ущільнення-опора, що дозволяє відмовитися від виносних підшипників та кінцевих ущільнень.

Продовженням розвитку конструкції цього пристрою є запірно-врівноважуючий пристрій, який відрізняється наявністю в торцевому зазорі кільцевої канавки, через яку подається запірне середовище. Він виконує функції як гідродинамічного підшипника ковзання, так і гідростатичного торцевого ущільнення. Ця система запобігає витокам робочого середовища та забезпечує гарантований зазор під час запуску та зупинки насоса.

Числове дослідження виконане за допомогою методу скінченних об'ємів та обчислювальної гідродинаміки (CFD). Дослідження враховує вплив великого ексцентриситету та прецесійного руху вала, а також гармонічних коливань в осьовому напрямку. Встановлено, що осьові коливання викликані радіальними зміщеннями вала через періодичні зміни зазору та його провідності, що призводить до пульсацій тиску в розвантажувальній камері та до відповідної зміни осьової розвантажувальної сили.

Для більш точного моделювання турбулентної течії у зазорах було обрано модель турбулентності Shear Stress Transport (SST $k-\omega$), яка краще прогнозує пристінні ефекти та градієнти швидкості. Числова модель конструкції запірно-врівноважуючого пристрою побудована на основі верифікованої числової моделі врівноважуючого пристрою, для якої похибка становила не більше 5% у порівнянні з експериментом.

Завдяки циркуляційному перетіканню рідини відбувається вирівнювання окружного тиску в розвантажувальній камері, що, у свою чергу, може впливати як на величину, так і на знак гідродинамічних сил, які виникають у циліндричних і торцевих зазорах. Крім того, наявність складного спірального потоку в запірно-розвантажувальному пристрої може стати додатковим джерелом радіальної та осьової нестабільності вала насоса.

У результаті чисельних розрахункових досліджень визначено коефіцієнти динамічної жорсткості та демпфування рідини в радіальних і осьових зазорах в залежності від запірного тиску та частоти обертання вала. Визначено діапазон динамічної стійкості осьової розвантажувальної системи.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ РАМИ ПРИЧЕПА АГРОТЕХНІКИ ТА ЙОГО УДОСКОНАЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ

*Позовний О. О., асистент кафедри комп'ютерної механіки
ім. В. Марцинковського; Литвиненко О. О., студент групи ІМ-11/3,
Сумський державний університет, м. Суми*

При проектуванні конструкцій рами причепа доволі часто використовують числові методи розрахунку. Це зумовлено скороченням часу на дослідження та зниженням витрат на аналізі конструкції, оскільки виготовлення та випробування реальних зразків є дорогішими. У ході дослідження вузла рами виконано аналіз напружено-деформованого стану конструкції заднього відбійника причепа, призначеного для сільськогосподарської техніки, методом скінчених елементів. Основною метою дослідження було визначення причин передчасного руйнування існуючої конструкції, а також виявлення її слабких місць, що проявилися під час чисельних випробувань на міцність та жорсткість відповідно до вимог європейського регламенту № 2015/208, який встановлює чіткі методики проведення випробувань та визначає нормативні значення навантажень для задніх захисних конструкцій сільськогосподарських та лісогосподарських транспортних засобів. Під час проведення чисельних випробувань було виконане поетапне прикладання нормативних навантажень у визначених регламентом точках. У результаті проведених досліджень було виявлено критичні зони концентрації напружень та максимальних деформацій, що відображають характер розвитку руйнувань, зафіксованими при випробуваннях реальних зразків під час проведення фізичного навантаження конструкції, котрі порівнювалися. Для більш точних результатів було проведено аналіз розрахункової сітки в місцях виникнення найбільших концентраторів напружень.

На підставі аналізу отриманих результатів було розроблено нову, вдосконалену конструкцію відбійника, в якій усунуто слабкі місця шляхом зміни геометричних параметрів та застосування додаткових елементів посилення. Чисельні дослідження удосконаленої конструкції підтвердили суттєве зниження концентрації напружень і деформацій, що забезпечує повну відповідність нормативним вимогам регламенту та гарантує підвищення експлуатаційної надійності конструкції.

Практична значущість роботи полягає у забезпеченні безпечної та ефективної експлуатації причепів сільськогосподарської техніки за рахунок підвищення міцності та довговічності їх захисних конструкцій, зменшенні ризиків виникнення аварійних ситуацій, а також скороченні витрат на ремонт і технічне обслуговування.

РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОТОРНИХ МАШИН

*Рошупкін О. В., аспірант; Павленко І. В., д-р техн. наук, проф. каф. КМ
ім. В. Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми*

Роторні системи є основними елементами багатьох видів енергоємних машин, а проблеми, пов'язані з дефектами роторів призводять до значних руйнувань, фінансових втрат, вимушеного простою енергетичного обладнання. Таким чином, своєчасне виявлення дефектів на початкових етапах функціонування роторних машин (відцентрових насосів, компресорів, турбін тощо) є надважливим завданням, вирішення якого дозволить запобігти можливим негативним наслідкам і аварійним ситуаціям, мінімізувати витрати на обслуговування та забезпечити безперебійну роботу цих машин.

На цей час розроблено багато методик діагностування технічного стану, які використовуються у промислових умовах, демонструючи прийнятну точність. Проте, традиційні підходи мають типові обмеження. Наприклад, здебільшого вони пов'язані з вузькою специфічністю запропонованих моделей, придатних для ідентифікації одного виду ідеально вираженого дефекту. Як іншу проблему можна зазначити нездатність традиційних математичних моделей і методів точно описувати реальні гідротермомеханічні процеси у системі «ротор – опори – ущільнення».

Вищезазначених проблем можна уникнути за допомогою застосування гібридних методів параметричної ідентифікації математичних моделей мультифізичних систем, заснованих на основі комплексного поєднання аналітичних даних, числових моделей і систем штучного інтелекту, зокрема штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів. За такого підходу не обов'язково враховувати надскладні закономірності, оскільки у процесі навчання системи встановлюються відповідні зв'язки, які дозволяють ефективно оцінити дефект. Основний недолік такого підходу, пов'язаний із необхідністю переналаштування системи за суттєвої зміни геометрії та умов роботи об'єкту дослідження, усувається шляхом застосування адаптивних моделей і методів машинного навчання. Проте, основною перевагою такого підходу є можливість оцінювання дефектів за інтерференції впливу факторів та наявності шумів.

Також, використовуючи маркери кластерів мереж і мапування параметрів як точок гіперпростору, застосування інтелектуальних методів прийняття рішень, зокрема нечіткої логіки, дозволяють робити висновки про імовірність того чи іншого дефекту, створюючи гнучку експертну систему для достовірного діагностування технічного стану роторних машин.

*Основні результати одержано у рамках виконання науково-дослідної роботи «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету»
(Держресстрація № 0121U112684)*

РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ БУРОВОЇ ВЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОНТИНУАЛЬНО-ДИСКРЕТНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Харченко Є. В., професор кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка»; Біловус А. Р., аспірант кафедри «Робототехніка та інтегровані технології машинобудування», Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Для проведення математичного моделювання динаміки складених довгомірних конструкцій нерідко застосовують у поєднанні теорію стрижнів і стрижневих систем та засоби континуалізації. У статті [1] стисло подано варіаційне формулювання просторових нелінійних балок сталого перерізу, таких як балка Тимошенка, балка Ейлера–Бернуллі та нерозтяжна балка Ейлера–Бернуллі. У статті [2] отримано визначальні рівняння коливань балки з помірно великим прогином і довільним поперечним перерізом.

У даній доповіді розглядаються вільні і вимушені поперечні коливання баштової вежі бурової установки. У загальному випадку розрахункова модель подана як багатопрогонова балка Тимошенка зі змінними згинною жорсткістю, розподіленою масою і поздовжньою силою по довжині. Прийнято, що вежа встановлена на жорсткій платформі, обіпертій на пружну основу. Додатково вона зв'язана з основою за допомогою пружних відтяжок. Прикріплені до вежі кронблок і площадки для обслуговування бурової установки розглядаються як тверді тіла. Для випадку гармонічних коливань балки одержано диференціальні рівняння амплітудних функцій, які зведено до інтегральних рівнянь Вольтерра. Розрахунок коливань багатопрогової конструкції виконується із застосуванням матричного методу початкових параметрів.

У спрощеному випадку висотна конструкція, що має неперервно-змінні параметри по довжині, подається як споруда з кусково-сталими параметрами. Такий підхід значно спрощує розв'язання задачі і дає можливість отримати розв'язки амплітудних функцій в аналітичному вигляді. Наводиться аналіз результатів розрахунків поперечних коливань баштової бурової вежі. Проводиться порівняльний аналіз результатів практичного застосування математичних моделей різного рівня складності.

Список літератури

- 1 Eugster S.R., Harsch J. (2020). A Variational Formulation of Classical Nonlinear Beam Theories. In: Abali, B., Giorgio, I. (eds) Developments and Novel Approaches in Nonlinear Solid Body Mechanics. Advanced Structured Materials, vol 130. Springer, Cham. 10.1007/978-3-030-50460-1_9
2. Sohani F. & Eipakchi H. (2021). Linear and nonlinear vibrations of variable cross-section beams using shear deformation theory. ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 101. 10.1002/zamm.202000265.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ВІБРАЦІЙНИХ ГІРОСКОПІВ

Овчаренко М. С., канд. техн. наук, н.с. каф. ПГМ; Папченко А. А., канд. техн. наук, доц. каф. ПГМ; Павленко І. В., д-р техн. наук, проф. каф. КМ ім. В. Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми

Проблема підвищення точності визначення абсолютних значень кута обертання переносної системи координат, пов'язаної з корпусом системи стабілізації, та її кутової швидкості є одним з ключових факторів покращання ефективності застосування навігаційних систем.

На відміну від волоконно-оптичних гіроскопів і кільцевих лазерних гіроскопів, дія яких ґрунтується на ефекті Саньяка, коріолісові вібраційні гіроскопи, засновані на виникненні сили Коріоліса при обертанні коливальної системи (носія кінетичного моменту, що здійснює псевдолінійні коливання), мають порівняно високу точність. Це підтверджується як закордонними виробниками кварцевих напівсферичних гіроскопів (зокрема, «Quarason», Франція), так і вітчизняними розробками GPS-інтегрованих систем. Конструкція вібраційного гіроскопа допускає можливість зменшення масогабаритних характеристик і застосування різної геометрії та матеріалів резонаторів, у т. ч. з високою симетрією. Останні досягнення технології КВГ, заснованої на мікр-електро-механічних системах, дозволяють одержувати корисний сигнал за низького співвідношення «сигнал / шум».

Реалізація завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету спрямована на вирішення важливої комплексної науково-технічної проблеми підвищення обороноздатності України шляхом вирішення актуальних проблем, визначених Пріоритетною тематикою при проведенні конкурсів проєктів фундаментальних наукових досліджень, прикладних наукових досліджень та науково-технічних (експериментальних) розробок, у тому числі за потреб Міністерства оборони України. Зокрема, за пріоритетним напрямом «Розробка прогресивної технології виготовлення основних частин вібраційних гіроскопів, що використовуються в інерціальних навігаційних системах та системах стабілізації» вирішується завдання щодо визначення впливу режимів термічного оброблення на мікроструктуру прецизійних сплавів із заданим тепловим коефіцієнтом лінійного розширення для деталей вібраційних твердотільних гіроскопів та розроблення технології виготовлення їх основних частин. Вирішення цих завдань пов'язане із необхідністю підвищення ефективності інерціальних навігаційних систем, систем стабілізації оптичних засобів, систем керувань радарів тощо.

Основні результати одержано у рамках виконання науково-дослідної роботи «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (Держреєстрація № 0121U112684)

ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ ЗЕЛЕНОГАЙСЬКОГО АРХЕОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Титаренко І. В., аспірант, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків; Павленко І. В., д-р техн. наук, професор каф. КМ ім. В. Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми

В умовах перманентних бойових дій нагальна необхідність збереження і документування об'єктів культурної спадщини створює передумови до вирішення важливої наукової, технологічної, економічної та соціальної проблеми збереження культурної спадщини [1]. Вирішення цієї проблеми пов'язане з необхідністю застосування сучасних наукових підходів і технологічних засобів щодо 3D моделювання і візуалізації для створення віртуальних моделей-реконструкцій зруйнованих об'єктів [2].

Збереження національної спадщини для майбутніх поколінь захищене Конвенцією про захист культурних цінностей у разі збройного конфлікту та двома протоколами до неї (1954 р. та 1999 р.) [3]. Генеральне управління внутрішньої політики Європейського Парламенту також приділяє достатньо уваги питанням захисту культурної спадщини від збройних конфліктів в Україні [4]. Національний інститут стратегічних досліджень і Український інститут національної пам'яті активно ставлять питання щодо необхідності документування та збереження культурних пам'яток. Міністерство культури та інформаційної політики України акцентує увагу на необхідності застосування технологій створення цифрових версій об'єктів культури, зокрема, із застосуванням лазерного і фотограмметричного сканування [5].

Таким чином, актуальність проблеми підкреслюється сучасними викликами у контексті збереження культурних, історичних й археологічних пам'яток, пов'язаних з російською військовою агресією, що спричинила значні руйнування громад Сумської області [6].

Метою наукової роботи є створення наукових основ віртуальної реконструкції об'єктів культурної спадщини шляхом комплексного поєднання сучасних інформаційних технологій з картографічними, історичними та архівними джерелами.

Для досягнення цієї мети на першому етапі дослідження «Створення 3D моделей рельєфу місцевості знищених об'єктів культурної спадщини» здійснено пошук архівних джерел, зібрані та проаналізовані історичні дані щодо знищених об'єктів культурної спадщини у межах Зеленогайського археологічного комплексу 8–13 ст. та вулиць центру м. Суми початку 20 ст.

На етапі дослідження картографічних джерел було зібрано і проведено аналіз існуючих карт та схем. За допомогою сучасних інструментів Adobe для суміщення карт було досліджено 18 карт і схем ділянки Зеленогайського археологічного комплексу. Це дозволило виявити і зафіксувати зміни в

ландшафті, динаміку рельєфу, картографічну деформацію у різні періоди, починаючи з 1869 року.

Для більш точного розуміння хронології зміни та розвитку сучасного ландшафту на місці та околицях Зеленогайського археологічного комплексу було задіяно алгоритм накладання карт та схем, починаючи від найточнішої і завершуючи найбільш деформованої карти. При цьому кількість задіяних картографічних джерел різних періодів дозволяє одержати повнішу аналітичну базу об'єкта дослідження.

У результаті було виявлено, що найточнішими картографічними джерелами є геодезичні підоснови території. Проте їхня наявність зустрічається здебільшого у контексті населених пунктів.

У випадку ділянки Зеленогайського археологічного комплексу найточнішим джерелом є супутникові знімки з відкритих джерел, ортофотоплан та об'ємна 3D модель місцевості, створена на основі технології фотограмметрії.

Наступним кроком є накладання наявних карт і схем відносно найбільш точної. Таким чином, запропоновано підхід, який суттєво пришвидшує процес аналізу місцевості та дозволяє виявити об'єкти, необхідні для дослідження території.

Список літератури

1. Tytarenko, I., Pavlenko, I., Hrehova, S. (2024). 3D reconstruction of a virtual building environment. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes V*. InterPartner 2023. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 105–114. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_10
2. Tytarenko I., Pavlenko I., Dreval I. (2023). 3D Modeling of a virtual built environment using digital tools: Kilburun fortress case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 13(3), 1577, <https://doi.org/10.3390/app13031577>
3. <https://www.unesco.org/en/heritage-armed-conflicts>
4. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733120/IP_OL_STU\(2023\)733120_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733120/IP_OL_STU(2023)733120_EN.pdf)
5. <https://mcip.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorennya-zyfrovyh-versij-obyektiv-kultury>
6. Tytarenko I., Pavlenko I. (2024). An approach for modeling city defense means: Sumy region case study. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII*. *DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Vol. 2, pp. 96-106. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_9

Основні результати одержано у рамках виконання науково-дослідної роботи «Наукові основи віртуальної реконструкції знищених об'єктів культурної спадщини для стратегії відновлення України» (Держреєстрація № 0125U000440)

СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ APACHE SPARK ТА NEO4J

Павленко В. І., учень СЗЗСО І-ІІІ ст. № 10 СМР; Зиміна Л. О., вчитель інформатики СЗЗСО І-ІІІ ступенів №10 СМР, м. Суми; Гончаренко А. А., студент НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ

Сучасні інформаційні технології надають нові можливості для аналізу даних, що стає критично важливим у бізнесі, орієнтованому на клієнта. Одним із ключових інструментів для підвищення конкурентоспроможності компаній є системи рекомендацій. Вони дозволяють персоналізувати взаємодію з користувачами, формуючи індивідуальні пропозиції товарів або послуг на основі аналізу їхньої поведінки, уподобань і взаємодій з платформою. Таким чином, поєднання таких технологій, як Apache Spark і Neo4j, відкриває широкі можливості для побудови ефективних рекомендаційних систем.

Apache Spark є потужною платформою для оброблення Big Data, забезпечуючи високу швидкість і масштабованість [1].

Neo4j, у свою чергу, є гнучкою графовою базою даних [2], яка дозволяє моделювати складні зв'язки між елементами, що є ключовим для побудови рекомендацій.

Актуальність роботи полягає у розв'язанні важливої науково-технічної проблеми, спрямованої на досягнення теоретичних і практичних результатів, які можуть бути використані для впровадження рекомендаційних систем у різних галузях промисловості.

Метою наукової роботи є дослідження підходів до створення систем рекомендацій, їх впровадження та оптимізація з використанням Apache Spark та Neo4j на основі аналізу принципів функціонування відповідних технологій, їх переваг і обмежень та практичних аспектів інтеграції у реальні процеси прийняття рішень.

Об'єкт дослідження – взаємодія користувачів із товарами через дані, алгоритми аналізу даних та рекомендаційні системи, реалізовані за допомогою інструментів Apache Spark і Neo4j.

Предмет дослідження – підходи, алгоритми, моделі та інструменти для створення персоналізованих рекомендацій, які базуються на обробці даних у Apache Spark та аналізі графових структур у Neo4j.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі основні завдання:

- визначити необхідні експерименти, запропонувати їх програмну реалізацію;
- виявити аномалії потокових даних;
- провести аналіз одержаних експериментальних даних.

Перший розділ «Опис методів оброблення даних» присвячений опису існуючих алгоритмів рекомендацій, вибору та обґрунтуванню алгоритму та опису роботи вибраного алгоритму.

У другому розділі «Дослідження ефективності обраного методу виявлення аномалій в потокових даних» було визначено кроки для кожного експерименту, проведено самі експерименти та проаналізовано результати отримані в ході виконання експериментів.

У висновках наведено аналіз отриманого результату.

Наукова новизна полягає у новаторському поєднанні Apache Spark і Neo4j для створення рекомендацій, оптимізації моделей у графовій формі (рис. 1) та оброблення Big Data.

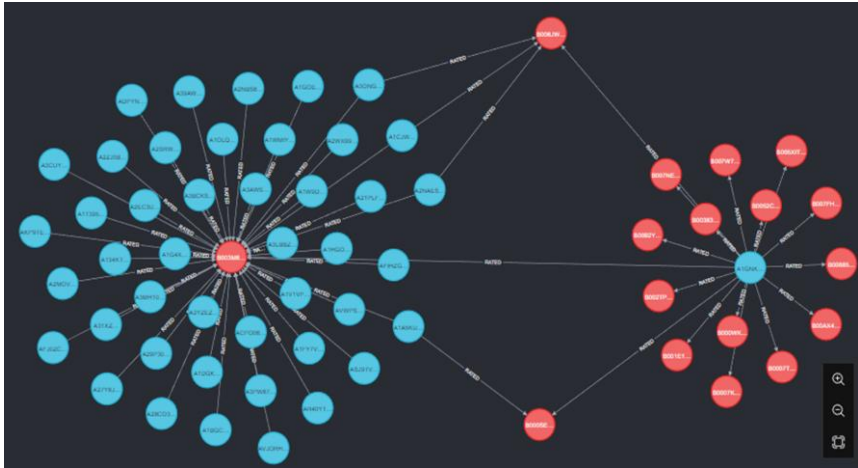


Рисунок 1 – Структура графу у Neo4j

Практична значущість роботи полягає у розроблених інструментах і методах, які сприяють підвищенню якості рекомендацій та їх масштабованості у наукових дослідженнях і практичних застосуваннях.

Список літератури

1. Nga, H.T.T., Thuy, A.N.T. (2024). Recommender system with Apache Spark. In: Proceedings of Data Analytics and Management. ICDAM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 786, pp. 487–497. Springer, Singapore.
2. Dermawan, F., Kwang, C.H., Adijanto, M.D., Rakhmawati, N.A., Basara, N.R. (2024). Product recommendations through Neo4j by analyzing patterns in customer purchases. In: 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems. ICETSSIS 2024.

Основні результати одержано у рамках виконання наукової роботи у Сумському територіальному відділенні Малої академії наук України, відділення інформаційних технологій, секція «Програмна інженерія»

**СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВИБУХОВИМИ РЕЧОВИНАМИ

*Кузьоменська К. В., аспірантка; Аблесва І. Ю., д-р техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Екологічна проблема забруднення ґрунту і води стійкими та токсичними вибуховими речовинами актуальна для колишніх військових полігонів та нинішніх військових об'єктів. Пошук у базі даних Scopus виявив, що більшість досліджень, пов'язаних із долею вибухових речовин у навколишньому середовищі, здоров'ям людини та ефективністю різних підходів до відновлення, були зосереджені в США, Канаді, Великобританії, Кореї, Китаї та Індії. Ця проблема набула особливо гострої актуальності для України під час війни, як результат бомбардувань, бойових дій та вибухів на земельних ділянках, у тому числі сільськогосподарського призначення.

Однією із енергетичних складових сполук нечутливих боєприпасів є гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-триазин або гексоген. У закордонній номенклатурі можна зустріти назви Royal Demolition eXplosive (RDX) або циклоніт. У порівнянні з іншими продуктами вибухових речовин RDX має більшу молекулярну масу та нижчу розчинність у воді, а додаткова нітрогрупа сприяє утворення міцніших сорбат-вуглецевих комплексів у ґрунті. Проте варто відмітити, що коефіцієнт сорбції залежить від вмісту органічної речовини у ґрунті. Зважаючи на різноманітність ґрунтів, і відповідно вмісту органіки, у зонах бойових дій на території України, можна передбачити варіювання показника сорбції для RDX.

Хан та ін. (2022) [1] припустили, що першими етапами долі вибухових речовин є розчинення, випаровування та адсорбція, які призводять до транспортування частинок у 3 фази ґрунту: повітряну, водну та сорбовану. Забруднення ґрунту гексогеном пов'язане з двома останніми фазами, які підлягають подальшому процесу трансформації. Небезпечним з екологічної точки зору є перехід та акумулювання речовин у рослинній масі, що сприяє міграції ксенобіотика по харчовим ланцюгам. Біохімічна трансформація гексогену за участі мікроорганізмів, здатних залучати ксенобіотик до власного метаболізму, залежить від рівня його біодоступності та токсичності, а також наявності відповідних ферментативних систем. Відповідно, ці процеси лежать в основі біотичних (аеробних або анаеробних) реакцій деградації гексогену та природнього очищення ґрунту, що протікає порівняно повільно та відтерміновано у часі. Абіотичні реакції включають лужний гідроліз, фотоліз, відновлення заліза та термодеструкцію [2].

Прогресивні підходи до ремедіації ґрунтів, забруднених вибуховими речовинами, ґрунтуються саме на механізмах їх деградації, які можна інтенсифікувати за допомогою фізичних, хімічних та біологічних методів. Mystrioti and Papassiopi (2024) [3] систематизували наявні технології та методи, що дозволяють очистити ґрунт від гексогену (рис. 1).

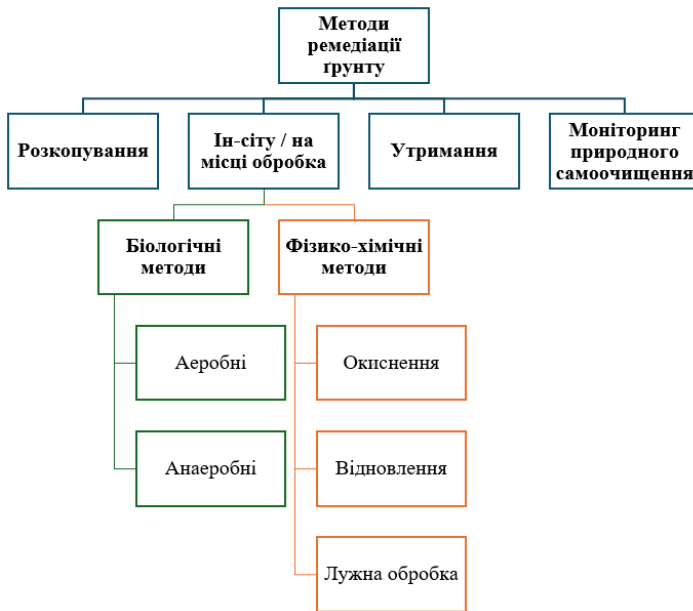


Рисунок 1 – Методи рекультивації ґрунту, забрудненого вибуховими речовинами [3]

Останнім часом більше досліджень проводиться у сфері застосування біологічних методів відновлення, зокрема біоремедіація. Встановлено високий рівень ефективності використання біопродуктів та біокомпозитів, що містять поживні речовини та слугують біоплівкою для відповідних груп бактерій. Таким чином, наші подальші дослідження будуть спрямовані на експериментальне випробування біочару із дигестату у цих цілях.

Список літератури

1. Khan, M. A., Sharma, A., Yadav, S., Celin, S. M., & Sharma, S. (2022). A sketch of microbiological remediation of explosives-contaminated soil focused on state of art and the impact of technological advancement on hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) degradation. *Chemosphere*, 294, 133641. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133641>.
2. Lapointe, M., Martel, R., & Diaz, E. (2017). A conceptual model of fate and transport processes for RDX deposited to surface soils of North American active demolition sites. *Journal of Environmental Quality*, 46(6), 1444–1454. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.02.0069>.
3. Mystrioti, C., & Papassiopi, N. (2024). A Comprehensive Review of Remediation Strategies for Soil and Groundwater Contaminated with Explosives. *Sustainability*, 16(3), 961. <https://doi.org/10.3390/su16030961>.

МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

*Гришко А. О., студентка групи ОС-11; Абієєва І. Ю., д-р техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Нафта – один із важливих енергетичних ресурсів в сучасному світі, але її видобуток та використання можуть спричинити значні негативні наслідки для довкілля. В умовах попиту на нафтову продукцію, ризик її розливів є досить великим, і стає проблемою забруднення ґрунтів.

Нині проблема нафтового забруднення одна з найактуальніших в сучасному світі. Оскільки наслідками стає деградація ґрунтів, зниження їхньої родючості, накопичення токсичних сполук у його складі, загибель мікроорганізмів та представників фауни. Тому розробка ефективних методів очищення ґрунту від нафтопродуктів є досить важливим етапом у збереженні та розвитку природних екосистем.

Антропогенна діяльність призводить до негативних наслідків для стану ґрунтового покриву. Аварійні розливи нафти теж відіграють значну роль в забрудненні ґрунту. Джерелами цього виду забруднення є нафтовидобувні підприємства, транспорт нафти аварії та воєнні дії тощо. Війна, що розпочалась на території України у 2022 році, відіграє значну роль у забрудненні ґрунту нафтопродуктами. Відомо, що велика кількість нафтових підприємств зазнала руйнування через обстріли (нафтобаза в Охтирці, Чернігові, Житомирі тощо). Всі ці руйнування призводять до викидів нафти у довкілля, ґрунт не є винятком [2].

Для ліквідації наслідків нафтового забруднення використовують механічні, фізико-хімічні, біологічні та комплексні методи [5].

Фізико-хімічний метод очищення ґрунту досить ефективний для видалення нафтопродуктів. Оскільки він включає процеси промивання, екстракції, адсорбції. До прикладу процеси промивання будуть більш ефективними в очищенні піщаних чи супіщаних ґрунтів. Цей процес може відбуватися за допомогою спеціальних добавок та відстоювання. Глинисті мінерали, активоване вугілля є основними сорбентами у процесі адсорбції. Перевагами цього методу є досить висока ефективність для великих площ забруднення та використання екологічно безпечних матеріалів. В основу методу екстракції покладено використання чистих та дешевих мийних засобів (наприклад «Уніфлок») [1]. Різновидом методу ще є промивка ґрунту за допомогою дренажних систем.

Біологічні методи базуються на процесах самоочищення та самовідновлення ґрунту. До прикладу використання мікроорганізмів, які можуть розщеплювати нафтові сполуки, під час біоремедіації. Мікроорганізми здатні доводити процес трансформації органічної речовини до повної мінералізації [1]. А метод в якому використовуються рослини – фіторемедіація [4]. Представники флори здатні поглинати та переробляти нафтові речовини. До прикладу люцерна посівна досить

стійка до нафти, в неї добре розвинена коренева система, тому вона створює гарні умови для розвитку мікроорганізмів, що здатні розщеплювати складові нафтопродуктів [4]. Деякі дослідження показують, що біб кормовий та овес посівний є найефективнішими рослинами-фіторемедіантами. Вони найменш схильні до токсичного впливу нафтопродуктів і найкраще зростають в таких умовах [6]. Також варто виокремити комплексне використання природних сорбентів (лушпиння соняшника, глауконіту). За результатами дослідження встановлено, що цей комплекс позитивно впливає на покращення властивостей ґрунту, а саме зменшується фітотоксичність та вміст нафти в ньому ($< 0,4\%$ нафти в ґрунті). Тому використання природних сорбентів та мінеральних добрив поліпшує якість ґрунту [6]. Також очистити ґрунт можна за допомогою бактерій чи грибів (метод компостування). Вони здатні розкласти органічну частину забрудника [3].

Вибір ефективного методу очищення ґрунту залежить від рівня забруднення, типу ґрунту. Тому й існує безліч способів для змоги обрати оптимальний. Але досить цікава практика полягає в комбінуванні декількох методів. Це дозволяє досягти високого рівня в очищенні ґрунтового покриву та зменшити негативні наслідки для довкілля та представників проживаючої тут флори і фауни.

Список літератури

1. Ганошенко О. М., Журавель В. С. Аналіз методів очищення нафтозабруднених ґрунтів. Тези 72-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, присвяченої 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, 2020. Т. 1. С. 277–278.

2. Диняк О. В., Кошлякова І. Є. Потенційна небезпека для довкілля та населення від нафтохімічного забруднення геологічного середовища в наслідок бойових дій. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2023. Т. 6, № 51. С. 136–141.

3. Наконечний І. В., Маринець О. М. Аналіз чинників, що впливають на процес біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2023. № 4 (49). С. 114–122.

4. Софіяч О. Р., Гринь С. О. Фіторемедіація як спосіб відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*. 2020. С. 44.

5. Хохлов А. В., Хохлова Л. Й. Очищення піщаних ґрунтів від нафтозабруднень застосуванням біосорбційних комплексів. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2020. № 6(33). С. 86–90.

6. Шевчик-Костюк Л. З., Романюк О. І., Баня А. Р. Підвищення ефективності фіторемедіаційних технологій нафтозабруднених ґрунтів за участі природних сорбентів-меліорантів. *Scientific horizons*. 2020. Т. 23, № 10. С. 7–16.

МЕМБРАННІ БІОРЕАКТОРИ У ВОДООЧИЩЕННІ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

*Кудлай А. Ю., студентка; Пляцук Л. Д., професор; Батальцев С. В.,
старший викладач, Сумський державний університет, м. Суми*

Зростання урбанізації, промислового виробництва та сільськогосподарської діяльності спричиняє постійне збільшення обсягів стічних вод, які містять широкий спектр забруднювачів. Низька ефективність традиційних методів очищення, таких як механічна, біологічна та фізико-хімічна обробка, призводить до погіршення екологічного стану водних ресурсів, зниження якості питної води та загроз для здоров'я населення.

Одним із найбільш перспективних методів очищення стічних вод є використання мембранних біореакторів (MBR) – технології, що поєднує класичне біологічне очищення з мембранною фільтрацією. У процесі роботи MBR органічні речовини розкладаються активним мулом, а мембранні модулі затримують навіть найдрібніші забруднення, включаючи бактерії та віруси.

Принцип роботи мембранних біореакторів включає кілька основних етапів: біологічне очищення (у біореакторі мікроорганізми розщеплюють органічні речовини, перетворюючи їх на нешкідливі компоненти), мембранна фільтрація (очищена вода проходить через пористі мембрани, які ефективно затримують тверді частинки, мікроорганізми та забруднювачі), відведення очищеної води.

Основні переваги мембранних біореакторів:

- висока ефективність очищення – забезпечують видалення до 99% забруднень, включаючи мікрозабруднювачі та патогенні мікроорганізми;
- компактність – займають менше місця порівняно з традиційними очисними спорудами;
- зменшення утворення осаду – знижує потребу в додатковій обробці мулу.

Недоліками мембранних біореакторів є:

- висока вартість обладнання та експлуатації – мембранні модулі потребують регулярного очищення та заміни;
- чутливість до забруднень – мембрани можуть засмічуватися, що вимагає впровадження ефективних методів їх очищення;
- витрати електроенергії – процес вимагає більшої енергетичної витрати порівняно з традиційними методами біологічного очищення.

Отже, мембранні біореактори є інноваційною та ефективною технологією очищення стічних вод, яка дозволяє досягти високої якості очищення, зменшити утворення мулу та сприяти повторному використанню водних ресурсів. Попри вищі експлуатаційні витрати, постійне вдосконалення мембранних технологій, автоматизація процесів та розвиток енергозберігаючих рішень роблять MBR перспективним вибором для муніципальних та промислових систем очищення стічних вод.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОД У ЗОНІ ВПЛИВУ СУМСЬКОЇ ТЕЦ

*Гурець І. М., аспірант; Пляцук Л. Д., професор,
Сумський державний університет, м. Суми*

На сьогодні теплоенергетика стала важливою складовою розвитку глобальної промисловості. Зі збільшенням кількості великих енергетичних об'єктів і комплексів зростають обсяги відходів, зокрема золошлаків, які утворюються на електростанціях. Розміщуючи продукти спалювання на золовідвалах, теплоенергетичні підприємства сприяють проникненню різних хімічних сполук у поверхневі та підземні води, що змінює їхній хімічний склад, мінералізацію і значення рН. Це викликає необхідність постійного моніторингу стану навколишнього середовища у зонах, де розташовані золовідвали.

Основною метою моніторингу вод на теплоелектростанціях зазвичай є контроль за золошлаконакопичувачем, куди через гідротранспортування надходять вугільна зола та шлами від хімічного очищення води. Зола кам'яного вугілля містить різні мікрокомпоненти, які при контакті з атмосферними водами можуть вилугуватися, переходити в розчинену форму та забруднювати ґрунтові води через інфільтрацію.

Золошлаконакопичувач Сумської ТЕЦ є двосекційним відстійником об'ємом 195 тис. м³, кожна секція має площу 150х178 м, загалом займаючи 5,3 га. До накопичувача надходять зола та стічні води системи хімводоочищення, а його розташування на лівому березі р. Псел може призвести до забруднення як поверхневих, так і підземних вод.

Для моніторингу якості вод в районі золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ була створена мережа спостережних свердловин, які охоплюють як сам накопичувач, так і навколишні території. Це дозволяє аналізувати, як забруднюючі речовини проникають у підземні води та р. Псел. Дослідження якості вод включали вимірювання фізико-хімічних показників. У польових умовах використовувалися портативні прилади Hanna Instruments HI-98130 Combo, HI-98121, ULAB SX-751 для вимірювання температури води, електропровідності, рН та окислювально-відновного потенціалу (Eh або ORP). Результати досліджень показали, що наразі не було зафіксовано перевищення нормативів вмісту забруднюючих речовин у підземних та поверхневих водах поблизу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ.

Список літератури

1. Ковальчук, О.П. Моніторинг вмісту важких металів у ґрунтах територій, прилеглих до Добротвірської ТЕЦ [Текст] / О.П. Ковальчук, В.В. Снітинський, Р.С. Шкумбатюк // Науковий вісник НЛТУ України – 2017 - т. 27, № 4 - С 87-90.

ВПЛИВ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ СУМСЬКОЇ ТЕЦ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

*Залевська І. В., аспірантка; Гурець Л. Л., д-р техн. наук, професор,
Сумський державний університет, м. Суми*

Сучасний розвиток будь-якої сфери промисловості нерозривно пов'язаний із впливом на навколишнє середовище і сфера енергетики не виключення. У звіті [1] Енергетичного союзу ЄС наголошується на досягненні значного прогресу у сфері відновлювальної енергетики. Проте з іншого боку питання утилізації вже накопичених відходів теплоенергетики все ще не вирішене.

Під час експлуатації теплоелектростанцій, які є основними об'єктами енергетичного виробництва, утворюється значна кількість відходів. Для забезпечення роботи Сумської ТЕЦ в опалювальний сезон 2022–2023 років було виділено 80 тис. т. вугілля. Враховуючи середню зольність палива на рівні 10 %, протягом цього періоду накопичується приблизно 8 тис. т. золошлакових відходів. Водночас питання утилізації золошлакової суміші на території області залишається невирішеним, а золошлаконакопичувач Сумської ТЕЦ наразі майже повністю заповнений.

Золошлакові відходи за своїм хімічним складом являють собою складну суміш різноманітних, переважно мінеральних, речовин. Хімічний склад може змінюватися в певних межах, проте основними компонентами незмінно залишаються кисневі сполуки кремнію, алюмінію, заліза, кальцію та магнію. Невеликі кількості цих елементів також можуть бути присутні у формі сульфатів кальцію, магнію та заліза. Окрім мінеральних складових, золошлаки можуть містити й органічні речовини, через наявність залишкового «недопалу» вуглецю. Висока частка незгорілого вуглецю (до 15 %) разом із кислим рН може обмежувати можливості використання золошлаків [2].

Вивчення та оцінка токсикологічного впливу золошлакових відходів Сумської ТЕЦ дозволить не тільки оцінити ризики для довкілля та здоров'я населення, а також визначити можливі напрямки розробки безпечних технологій утилізації відходів для отримання максимального екологічного та економічного ефектів.

Список літератури

1. State of the Energy Union Report 2024. *energy.ec.europa.eu*. URL: https://energy.ec.europa.eu/publications/state-energy-union-report-2024-country-fiches_en
2. Яцишин, А. В., Матвєєва, І. В., Ковач, В. О., Артемчук, В. О., & Каменєва, І. П. (2018). Особливості впливу золівідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 28(2), 57–68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2594489>

МІКРОПЛАСТИК: НЕВИДИМА ЗАГРОЗА ДЛЯ ЕКОСИСТЕМ І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

*Карташева Д. М., студ. гр. ОС-21; Трунова І. О., доцент каф. ЕПТ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Пластик став невід'ємною частиною життя людини. Ми оточені безліччю предметів, виготовлених з цього матеріалу - від упаковок і побутових товарів до автомобільних деталей і медичних пристроїв. Його універсальність та доступність зробили пластик популярним вибором у промисловості та повсякденному житті. Однак, попри всі переваги, використання пластику супроводжується серйозними екологічними та ризиками для здоров'я, зокрема через утворення мікропластику - дрібних пластикових частинок, які практично неможливо побачити неозброєним оком.

Щороку у світі виробляється понад 400 мільйонів тонн пластику. З них лише приблизно 9% підлягає переробці, ще 12% спалюється, а решта 79% накопичується у навколишньому середовищі. Пластикові відходи забруднюють океани, ґрунти, водойми та повітря. Відсутність ефективної системи утилізації спричиняє поступове розпадання пластику на мікрочастинки, які розносяться екосистемами та потрапляють у харчові ланцюги.

Мікропластик виявлено у воді, їжі, ґрунті та навіть у повітрі. Він проникає в організм людини через споживання продуктів, води або вдихання пилу. У природі він накопичується у водоймах, негативно впливаючи на морських і річкових мешканців, а також поглинає токсичні речовини, що потрапляють у харчові ланцюги. У ґрунтах пластикові частинки змінюють їхню структуру та знижують родючість.

Для людини мікропластик є потенційно небезпечним: він не розщеплюється в організмі, може викликати запальні процеси та переносити токсичні сполуки, зокрема важкі метали та пестициди. Дослідники припускають, що його накопичення може сприяти розвитку алергій, гормональних порушень і навіть онкологічних захворювань.

Необхідні заходи для боротьби з мікропластиком: заміна пластику біорозкладними матеріалами; удосконалення збору та рециклінгу відходів; уникати їжі та напоїв у пластиковій упаковці; використання багаторазових сумок, контейнерів та пляшок у повсякденному житті як альтернатива одноразовим пластиковим виробам; екопросвіта та популяризація відповідального споживання.

Навіть невеликі зміни у щоденних звичках можуть допомогти зменшити потрапляння мікропластику до навколишнього середовища. Хоча пластик зручний і доступний, його надмірне та бездумне використання, а також неправильна утилізація призводять до серйозного забруднення довкілля і можуть завдати шкоди нашому здоров'ю. Саме тому важливо вже сьогодні діяти, аби захистити планету для майбутніх поколінь.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Красуля Б. О., асп. гр. А35-ТС, Сумський державний університет, м. Суми

В умовах стрімкого зростання щільності забудови, скорочення площ природних зелених зон, шкідливий вплив на якість повітря і втрату біорізноманіття в наслідок військових дій, для України як ніколи є актуальними питання створення екологічно безпечного середовища проживання людини та підвищення енергоефективності міської забудови.

Інтеграція озеленення в архітектурні рішення також може бути використана при відбудові пошкоджених або зруйнованих будівель.

Озеленення житлових будівель реалізується за трьома основними напрямками: вертикальне озеленення, озеленення дахів та внутрішнє озеленення. Кожен із цих методів має різний рівень ефективності з точки зору енергозбереження, зменшення викидів CO₂ та покращення мікроклімату. Порівняльний аналіз цих методів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів озеленення житлових будівель

Метод озеленення	Вартість	Догляд	Екологічний ефект
Вертикальне озеленення	Середня	Помірний	Високий
Озеленення дахів (екстенсивне)	Низька	Мінімальний	Середній
Озеленення дахів (інтенсивне)	Висока	Високий	Високий
Внутрішнє озеленення	Середня	Середній	Високий

Серед розглянутих методів найбільш перспективними є вертикальне озеленення та інтенсивне озеленення дахів. Вертикальне озеленення передбачає застосування фітостін, гідропонних та аеропонних систем, що забезпечують природне охолодження будівель, фільтрацію забруднювачів повітря та покращення шумоізоляції. Дослідження показують, що такі конструкції здатні знижувати температуру фасадів на 5-10°C у літній період, що значно скорочує витрати на кондиціонування.

Комбінація озелених дахів із сонячними панелями дозволяє досягти максимальної енергоефективності, знижуючи залежність будівель від традиційних джерел енергії.

Аналіз доводить, що вертикальне озеленення та озеленення дахів мають найвищу екологічну та економічну ефективність завдяки здатності знижувати рівень CO₂, покращувати якість повітря та сприяти теплоізоляції. Інтеграція таких рішень у сучасне міське середовище дозволить створити комфортніші умови для мешканців та зменшити негативний вплив урбанізації на довкілля.

ВПЛИВ ВІЙНИ НА ҐРУНТИ УКРАЇНИ

Сумцова К. С., студ. гр.ОС-11; Яхненко О. М., старший викладач каф. ЕПТ, Сумський державний університет, м. Суми

Україна відома своєю родючою землею, зокрема чорноземами, які складають 46% її ґрунтового покриву. Проте війна, що триває від 2022 року, завдала значних збитків навколишньому середовищу, зокрема ґрунту.

За даними Міністерства захисту довкілля, станом на 2025 рік внаслідок повномасштабного вторгнення забруднено понад 1,1 млн м² та засмічено більше 22 млн м² земель, а сума збитків оцінюється у понад 1,21 трлн грн.

Внаслідок бойових дій ґрунт зазнає механічного, фізичного та хімічного впливу, що призводить до його деградації, забруднення та втрати родючості. Механічний вплив військових дій виражається у руйнуванні структури ґрунтів. Важка військова техніка ущільнює верхній шар, що порушує його водопроникність і призводить до розвитку ерозійних процесів. Вибухи артилерійських снарядів, ракет та авіабомб залишають кратери, які змінюють мікрорельєф та ускладнюють природне відновлення ґрунту. Заміновані території стають небезпечними для сільськогосподарського використання, а уламки військової техніки та боєприпасів засмічують ґрунт.

Фізичні зміни у ґрунтах спричинені вібраційним, радіоактивним та тепловим впливом. Безперервні вибухи спричиняють вібраційне ущільнення, що змінює водний баланс та посилює ерозію. Високі температури руйнують гумусовий шар, знищують мікроорганізми, знижують родючість ґрунту.

Війна також спричинила значне хімічне забруднення. Хімічне забруднення ґрунтів включає накопичення вибухових речовин (тротил, гексоген, циклоніт), важких металів (свинець, мідь, кадмій, нікель, цинк) та залишків паливно-мастильних матеріалів. Наприклад, у Сартанській громаді (Донецька обл.) концентрації валових форм важких металів перевищують фонові значення та ГДК в 1,5-7,6 разів, що створює загрози для сільськогосподарського використання цих земель та здоров'я населення. Забруднені площі можуть залишатися небезпечними десятиліттями.

Деградація ґрунтів внаслідок війни потребує системних заходів рекультиваци, включаючи заходи щодо відновлення вмісту органічної речовини ґрунту, біостимуляцію мікробіому, фітореMediaцію, заходи щодо запобігання ерозійних явищ. За необхідності певні території можуть піддаватися консервації з залісненням чи заповіданням.

Ефективність і швидкість відновлення залежатиме як від інтеграції наукових методів у державні програми відновлення, так і міжнародної підтримки. Подолання наслідків воєнного впливу на ґрунти – ключовий етап відбудови екологічної стійкості України.

Дослідження виконувалось у рамках НДР № 0121U112684.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ПІРОЛІЗУ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ДИГЕСТАТУ

*Парамонов А. В., аспірант; Аблєєва І. Ю., д-р техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Технологія піролізу останніми роками набуває все більшого значення як ефективний метод обробки осаду стічних вод та дигестату для підвищення їх екологічної безпеки. Піроліз забезпечує значне зниження вмісту забруднюючих речовин у дигестаті за рахунок впливу високих температур та створення безкисневих умов, що сприяє деградації небезпечних компонентів та іммобілізації важких металів.

Основними параметрами процесу піролізу, що впливають на ефективність обробки дигестату, є температура, тривалість процесу та співвідношення компонентів. Дослідження показують, що оптимальна температура піролізу становить близько 550-700 °С, при якій відбувається максимальна деградація органічних забруднювачів [1]. За таких умов ефективність розкладання фармацевтичних речовин, таких як анальгетики, досягає 95% [2], а мікропластик повністю розкладається [3]. Тривалість процесу також є важливим параметром, що визначає ступінь перетворення органічних сполук та стабілізації важких металів.

Механізми впливу піролізу на забруднюючі речовини включають термічну деструкцію органічних забруднювачів, іммобілізацію важких металів у структурі біовугілля та формування стабільних неорганічних сполук. Під час піролізу важкі метали, такі як Cr, Cu, Zn, As та Cd, переходять у стабільніші форми, значно зменшуючи їх біодоступність та токсичність [4]. Зокрема, частка важких металів у небіодоступній формі F4 значно збільшується після піролізу, що підтверджує ефективність їх стабілізації [1].

Співпіроліз дигестату з іншими видами відходів, такими як харчові відходи, демонструє синергетичний ефект, що призводить до покращення характеристик отриманого біовугілля та підвищення ефективності іммобілізації важких металів [4].

Застосування біовугілля в системах анаеробного зброджування також сприяє збільшенню виходу біометану з 175,14 до 225,58 мл/г видаленого ХСК, що підтверджує його роль у підвищенні ефективності процесу [2]. Це досягається за рахунок стимуляції зростання ключових мікробних популяцій, таких як *Chlorobi*, *Bacteroidetes*, *Armatimonadetes*, *Synergistetes*, *Pseudomonas*, *Flavobacteriia*, *Euryarchaeota*, *Methanobacteria* та *Methanomicrobia*, які беруть участь у біоконверсії органічних речовин у метан. При дозуванні 100 мг біовугілля / г легких твердих речовин відносна чисельність цих мікроорганізмів значно збільшується, що сприяє підвищенню ефективності процесу [2].

Результати досліджень демонструють, що піроліз дигестату призводить до значного покращення його екологічних характеристик. Індекс екологічного ризику після піролізу знижується до рівня нижче 15,51, що свідчить про високу ефективність стабілізації забруднюючих речовин [4]. Фітотоксичність біовугілля також значно знижується, що підтверджується збільшенням індексу проростання до 139,41 % [4]. Це робить отримане біовугілля безпечним для використання в сільському господарстві як ґрунтовий кондиціонер та органічне добриво.

Важливо відзначити, що біовугілля, отримане з дигестату, забезпечує ефективне відновлення поживних речовин, таких як фосфор і азот, та сприяє зменшенню викидів парникових газів [4]. Економічна оцінка технології піролізу дигестату показує, що застосування отриманого біовугілля для очищення стічних вод та виробництва біогазу є економічно вигідним з періодом окупності близько 7,1 року [2]. Це підкреслює не лише екологічні, але й економічні переваги інтеграції технології піролізу в систему управління відходами.

Таким чином, технологія піролізу є ефективним методом підвищення екологічної безпеки дигестату шляхом деградації органічних забруднювачів, іммобілізації важких металів та отримання біовугілля з цінними функціональними властивостями. Оптимізація параметрів процесу, таких як температура, тривалість та склад вихідної сировини, дозволяє максимізувати ефективність обробки та покращити характеристики кінцевого продукту. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження впливу параметрів процесу піролізу на підвищення екологічної безпеки продукту.

Список літератури

1. Hosseinian, A., Brancoli, P., Vali, N., Ylä-Mella, J., Pettersson, A., & Pongrácz, E. (2024). Life cycle assessment of sewage sludge treatment: Comparison of pyrolysis with traditional methods in two Swedish municipalities. *Journal of Cleaner Production*, 455, 142375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142375>.
2. Alhajeri, N. S., & Tawfik, A. (2024). Integrating biochar and microbial community for detoxification of wastewater industry containing analgesics. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104767. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104767>.
3. Kutlar, F. E., Tunca, B., & Yilmazel, Y. D. (2022). Carbon-based conductive materials enhance biomethane recovery from organic wastes: A review of the impacts on anaerobic treatment. *Chemosphere*, 290, 133247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133247>.
4. Wang, X., Chang, V. W.-C., Li, Z., Song, Y., Li, C., & Wang, Y. (2022). Co-pyrolysis of sewage sludge and food waste digestate to synergistically improve biochar characteristics and heavy metals immobilization. *Waste Management*, 141, 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.001>.

МЕХАНІЗМИ ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ ТА БІОСУРФАКТАНТІВ ПІД ЧАС БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ

*Сіпка І. О., аспірантка; Аблєєва І. Ю., д-р техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Військові дії завдають значної шкоди всьому живому, порушують баланс руху поживних речовин та процесів їх кругообігу. Відбувається забруднення територій нафтопродуктами, важкими металами, хімічними агентами, та, власне, технікою. Подібні результати бойових дій погіршують властивості ґрунтів, волого- та повітропроникність, руйнують їх цілісність і структуру, зменшують їх родючість, сприяють вилученню земель із придатних для сільськогосподарського використання, впливають на їх якість. Локальна мікробіота зазнає змін кількісного та якісного складу, що впливає на самовідновну здатність території [1]. Одним із технологічних рішень очищення ґрунтів від хімічних речовин різної природи є застосування підходу in-situ біореємедіації на основі дигестату, посиленого дією сурфактантів.

Принцип методу біореємедіації заснований на активізації метаболічних процесів трансформації забруднювальних речовин у ґрунті аборигенною мікробіотою та внесенні відповідних консорціумів мікроорганізмів, що розкладають чи зв'язують забруднювачі. Деякі бактерії та гриби здатні виробляти та виділяти амфіпатичні молекули, які називаються біоповерхнево-активними речовинами (сурфактантами), які діють на псевдосолюбілізацію вуглеводнів, дозволяючи їм більш ефективно десорбуватися з ґрунтової матриці. Бактеріальні спільноти («консорціуми»), як правило, більш гнучкі, ніж будь-який окремиий вид, тому можна очікувати, що вони здатні розкласти більш широкий спектр забруднювальних речовин. Такі мікроорганізми *Pseudomonas aeruginosa* мають значний потенціал як агенти біореємедіації забруднених сировою нафтою ґрунтів [2]. Поверхнево-активні речовини активують біодеградацію за допомогою двох різних механізмів: вони можуть ефективно розчиняти нафтові вуглеводні для посилення відділення забруднюючих речовин від частинок ґрунту, збільшуючи можливості для контакту між мікроорганізмами; та можуть змінювати гідрофобність поверхонь мікробних клітин. У результаті проведених авторами досліджень встановлена ефективність видалення нафтових речовин на рівні 57 % за умови внесення *Pseudomonas aeruginosa*, але без додавання добрив [3].

Для посилення цього ефекту та забезпечення мікроорганізмів поживними речовинами і їх стійкого росту та розвитку доцільним є внесення поверхнево-активних речовин разом з біодобривом. Закордоном існує практика внесення дигестату як біодобрива, проте обмежена кількість досліджень щодо застосування його під час біореємедіації ґрунтів. Дигестат як побічний продукт анаеробного збродження органічної сировини (переважно відходів) містить макроелементи (вуглець, азот, фосфор і калій) та мікроелементи у вигляді слідів металів, які можуть сприяти відновленню

якості ґрунту [4]. Перевагами його використання є доступність елементів у тих формах, які необхідні для рослин та місцевої біоти. Тобто відбувається їх включення в кругообіг речовин без надмірного накопичення та забруднення хімічними агентами. Крім того, дигестат містить анаеробні бактерії, які стимулюють процеси трансформації органічних речовин у ґрунті, а деякі з них здатні виробляти позаклітинні полімерні речовини, тобто сурфактанти, під час анаеробного зброджування [5]. А органічна речовина біодобрива сприяє зв'язуванню важких металів відповідно до наших попередніх досліджень. Внесення дигестату створює оптимальні умови для підтримки процесів біорозкладання та очищення. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на дослідженні комбінованого застосування дигестату та біосурфактантів у технологіях захисту ґрунтів.

Отже, використання біогазового дигестату з сурфактантами сприятиме біоремедіації забруднених ділянок за рахунок деградації забруднюючої речовини та підживлення локальної мікробіоти макро- та мікроелементами. Усе це забезпечить поступове відновлення властивостей та якості ґрунтів, й інтенсифікуватиме ріст та розвиток мікроорганізмів-нафтодеструкторів і забезпечить зв'язування важких металів. Покращений дигестат виступає в ролі альтернативної екологічно безпечної технології захисту геосфери з мінімізацією шкоди навколишньому середовищу.

Список літератури

1. Wu M., Xie S., Zang J., Sun Y., Xu S., Li S., Wang J. Multiple anthropogenic environmental stressors structure soil bacterial diversity and community network. *Soil Biology and Biochemistry*. 2024. Vol. 198. P. 109560. Doi: 10.1016/j.soilbio.2024.109560.
2. Ebadi A., Sima N. A. K., Olamaee M., Hashemi M., Nasrabadi R. G. Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant producing *Pseudomonas aeruginosa* consortium. *Journal of Advanced Research*. 2017. Vol. 8. P. 627–633. Doi: 10.1016/j.jare.2017.06.008.
3. Ling H., Hou J., Du M., Zhang Y., Liu W., Christie P., Luo Y. Surfactant-enhanced bioremediation of petroleum-contaminated soil and microbial community response: A field study. *Chemosphere*. 2023. Vol. 322. P. 138225. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138225.
4. Baldasso V., Bonet-Garcia N., Sayen S., Guillon E., Frunzo L., Gomes C. A. R., Alves M. J., Castro R., Mucha A. P., Almeida C. M. R. Trace metal fate in soil after application of digestate originating from the anaerobic digestion of non-source-separated organic fraction of municipal solid waste. *Front. Environ. Sci*. 2023. Vol. 10. P. 1007390. Doi: 10.3389/fenvs.2022.1007390.
5. Ekstrand E., Svensson B. H., Šafarič L., Björn A. Viscosity dynamics and the production of extracellular polymeric substances and soluble microbial products during anaerobic digestion of pulp and paper mill wastewater sludges. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 43, no. 2. P. 283–291. Doi: 10.1007/s00449-019-02224-4.

МІКРОВОДОРОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІКСАЦІЇ CO₂: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

Тімченко А. В., студентка; Плячук Л. Д., професор; Батальцев С. В., старший викладач, Сумський державний університет, м. Суми

Зміна клімату – одна з найпоширеніших екологічних проблем на сьогодні, спричинена значним збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері, зокрема вуглекислий газ (CO₂). Традиційні підходи до зменшення викидів, як відновлювані джерела енергії та підвищення енергоефективності, є важливими, проте потребують значного часу для широкого впровадження. Одним із перспективних рішень є використання мікробіодоростей для біологічного вловлювання та фіксації CO₂.

Мікробіодорості є групою швидкоростучих фотосинтетичних мікроорганізмів, здатних ефективно поглинати CO₂ з різних джерел. По-перше, мікробіодорості можуть поглинати CO₂ безпосередньо з атмосфери. По-друге, вони здатні утилізувати CO₂, що міститься у промислових викидах. По-третє, мікробіодорості можуть використовувати зв'язаний CO₂ у вигляді розчинених карбонатів, наприклад NaHCO₃ та Na₂CO₃.

Для реалізації технології використовують кілька типів систем. Відкриті ставкові системи характеризуються низькими витратами на будівництво та експлуатацію, проте потребують великих площ і значних обсягів води. Закриті фотобіореактори забезпечують більш ефективне поглинання CO₂ завдяки високій щільності біомаси, захисту від контамінації та оптимальному масообміну, однак є економічно затратними. Можливе використання контрольованих середовищ – теплиць, що дає змогу регулювати умови росту мікробіодоростей за помірних капітальних витрат.

Розвиток технологій у сфері фотобіореакторного дизайну, збирання, висушування та переробки біомаси може зробити мікробіодорості доступним і ефективним засобом скорочення викидів CO₂ та виробництва біопалива.

Перевагою використання мікробіодоростей для зменшення викидів CO₂ є те, що вони, особливо в поєднанні з очищенням стічних вод, мають потенціал для основної біотрансформації, що підвищує економічну ефективність та екологічний гомеостаз процесу. Вони можуть використовувати промислові викиди CO₂ та швидко ростуть, що робить їх перспективним джерелом біопалива та цінних побічних продуктів. Але головним недоліком є висока вартість виробництва та складність використання біомаси.

Отже, розвиток технологій у сфері вирощування мікробіодоростей, удосконалення фотобіореакторів та методів переробки біомаси дає перспективи для широкого застосування цього підходу. Використання мікробіодоростей для фіксації CO₂ може стати ефективним інструментом у боротьбі зі зміною клімату, сприяти зменшенню промислових викидів та забезпечити виробництво екологічно чистого біопалива.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОВОДЖЕННЯ З МЕДИЧНИМИ ВІДХОДАМИ

*Фалько В. В., старший викладач; Птаценко С. Ю., студент гр. ТС-11,
Сумський державний університет, м. Суми*

Проблеми забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя країни є одним з найважливіших аспектів національної безпеки в області охорони здоров'я населення України. В результаті воєнної агресії Російської Федерації проти України проблема поводження з медичними відходами набуває особливої значущості. Збільшується номенклатура застосовуваних препаратів, обсяги і ступінь небезпеки відходів, що утворюються в результаті діяльності медичних установ. Медичні відходи є причинами прямого і опосередкованого ризику забруднення навколишнього середовища, виникнення інфекційних та неінфекційних захворювань серед населення. ВООЗ відносить медичні відходи до групи небезпечних і рекомендує створення спеціальних служб для їх переробки. Налагоджена система поводження із медичними відходами передбачає існування відділень для їхнього безпечного сортування, утилізації та знищення, а також наявність спеціально навченого персоналу для виконання цієї роботи. Основним нормативно-правовим актом щодо управління та поводження з медичними відходами є Державні санітарно-протиепідемічні правила і норми щодо поводження з медичними відходами затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України 08.06.15 №325 [1]. Одним з факторів потенційної небезпеки медичних відходів вважають екологічний ризик, пов'язаний з надходженням лікарняних відходів в навколишнє середовище і їх подальшою взаємодією з повітрям, водним середовищем і ґрунтом.

Пропонуються наступні етапи поводження з медичними відходами: збір та сортування відходів при збиранні у межах медичного закладу; маркування; знезараження та/або знешкодження відходів; транспортування і перенесення відходів у накопичувальні контейнери в межах закладу та їх тимчасове зберігання на території; видалення відходів.

Для утилізації більшості медичних відходів частіше використовують метод захоронення на спеціалізованих полігонах з попередньою дезінфекцією, при цьому створення полігону вимагає залучення великих територій, задіяння сучасних систем захисту і контролю. Також потрібно враховувати витрати на транспортування та знезараження медичних відходів при використанні цього методу.

Сучасними методами поводження з медичними відходами є хімічна дезінфекція медичних відходів, термічні методи утилізації: інсинерація (спалювання), піроліз медичних відходів, плазмова технологія.

Враховуючи те, що медичні заклади розташовані у густо населених місцях, залучення інсинераторів (спалювачів) для утилізації медичних відходів зазвичай неможливе. При цьому витрати на спалювання є найвищими, оскільки вимагають додаткового очищення продуктів згоряння. Незважаючи

на те, що хімічний метод виявляється небезпечним для медичних працівників, вартісний, має низьку ефективність дезінфекції, проте саме його використовують більшість медичних закладів України.

Враховуючи ризики, які супроводжують нинішній підхід до знешкодження небезпечних медичних відходів, одним зі способів вирішення проблеми є організація повного циклу поводження з відходами на території закладів охорони здоров'я фізичним методом. Екологічно обґрунтованим методом обробки інфекційних медичних відходів, який потребує порівняно невеликих інвестиційних і експлуатаційних витрат, є використання автоклавів. Вважається, що більш безпечним і економічно вигідним методом є обробка відходів паром під тиском в автоклаві при температурі не менше 105 °С протягом 30 хвилин із подальшим подрібненням. Додаткові умови існують для відходів нейрохірургічних операцій, обробка проводиться протягом 60 хвилин при температурі вище 135 °С.

В розвинених країнах світу існує практика запровадження альтернативних систем обробки медичних відходів. Такі системи зазвичай використовують кілька методів: нагрівання відходів мінімум до 90–950 °С за допомогою мікрохвильових печей, радіохвиль, гарячого масла, гарячої води, пари або перегрітих газів; обробка відходів сполуками типу гіпохлориту натрію або діоксиду хлору; обробка відходів гарячими хімічними сполуками; обробка медичних відходів джерелом радіації. Установки переробляють практично будь-які медичні відходи, крім біологічних. В Україні використовують утилізатори французького виробництва. Це комбінована техніка, яка поєднує подрібнювач середнього типу і паровий стерилізатор. Завантаживши вихідні несортвані відходи класів Б або В на виході отримують подрібнені, неідентифіковані і стерильні відходи класу А. В основі цієї технології лежить стерилізація, що гарантує епідеміологічну безпеку. Попередньо подрібнені відходи обробляють насиченою водяною парою при температурі 135 °С і тиску всередині робочої камери в 3 бари. Процес не має побічних відходів і викидів, що забруднюють атмосферу, водні та земельні ресурси, тобто екологічно безпечний.

Список літератури

1. Державні санітарно-протиепідемічні правила і норми щодо поводження з медичними відходами: затверджено наказом Міністерства Охорони Здоров'я України від 08.06.2015 № 325 // Міністерство Охорони здоров'я України. Електронний ресурс: URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0959-15>

МЕТОДИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ҐРУНТІВ ПІСЛЯ ВОЄННИХ ДІЙ

*Кліменко А. М., студентка групи ОС-11; Аблєєва І. Ю., д-р техн. наук,
доцент, Сумський державний університет, м. Суми*

Забруднення земельних угідь внаслідок воєнних дій є однією з найсерйозніших екологічних проблем, яка має довготривалі наслідки для довкілля, сільського господарства та здоров'я населення. Вибухи та ракетні удари, що відбуваються на території сільськогосподарських земель, призводять не лише до механічного та фізичного руйнування родючого шару ґрунту. Вони спричиняють забруднення ґрунтів хімічними речовинами та залишками військової техніки. У результаті таких процесів відбувається деградація ґрунтового шару, деструктивний вплив на ґрунтові екосистеми та виведення значної площі земель із сільськогосподарського обробітку. Як наслідок, втрачається або знижується врожайність, підвищується ризик онкологічних та хронічних захворювань у населення у зоні впливу цих факторів, а подальше використання земельних ділянок потребує спеціальної рекультивациі.

Першим етапом рекультивациі є підготовчо-технічний, а другим – біологічний. На першому етапі проводять видалення забрудненого ґрунту та очищення території за допомогою різних методів залежно від виду забруднення. У випадку розливу нафтопродуктів спочатку потрібно провести ліквідацію аварії та збір розлитої нафти механічними способами. Для загального хімічного забруднення ефективними є термічна десорбція та електрокінетична ремедіація, що передбачає застосування електричного струму для видалення забруднень із ґрунту [1].

На другому етапі застосовують біологічні методи, серед яких виділяють фіторемердіацію (за участю рослин) та біоремердіацію, в основі дії якого лежить принцип внесення необхідних мікроорганізмів та біостимуляторів. Останнє дослідження [2] показало екологічну безпечність та економічну ефективність біокомпозиту на основі анаеробного дигестату і фосфогіпсу для зв'язування важких металів під час in-situ біоремердіації забруднених ґрунтів.

Таким чином, застосування комплексних підходів до вирішення поставленої задачі може забезпечити ефективний результат.

Список використаної літератури

1. Wilson, D. J. (2017). Hazardous waste site soil remediation. In CRC Press eBooks. <https://doi.org/10.1201/9780203752258>

2. Skvortsova, P., Ablieieva, I., Boiko, A., Chernysh, Y., Bataltsev, Y., Kuzomenska, K., & Roubík, H. (2025). Assessment of ecological safety and economic efficiency of biosorption technology for soil protection after hostilities. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100677. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100677>.

TECHNOLOGY OF SULFUR REDUCTION IN PETROLEUM REFINERY FLARE DISPOSAL USING WASTE METALS

Ahmed I. H., Ph.D. student; Plyatsuk L. D., Professor; Bataltsev Y. V., Senior Lecturer, Sumy State University, Sumy, Ukraine

In this experimental study, the most important topics were highlighted, namely that in all oil refineries and oil and gas producing fields, large quantities of gas are burned for purposes including getting rid of sulfur compounds and hydrogen sulfide gas (Fig. 1). The emissions of these fuels are released into the atmosphere, leaving behind greenhouse gases such as sulfur dioxide and carbon dioxide. These gases are known to directly impact climate change and global warming, in addition to being toxic and carcinogenic substances for humans, animals, and other living organisms.

A prototype system Unit (Fig. 2) is designed to reduce sulfur and sulfur compounds and return the hydrocarbon gases to the refining units, eliminating the need for a flare and burning light hydrocarbons.

The system included three towers for stripping, reducing, and adsorbing sulfur from gases using the same catalyst. Depending on the chemical properties of sulfur reactions with metals and the percentage of sulfur in the gas the chemical reaction of sulfur with metals is presented as formulas:

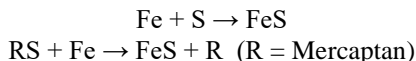


Figure 1 – The flares in the refinery



Figure 2 – Prototype system –
Unit for sulfur reducing

All metals, except for gold and platinum, react with sulfur to form inorganic sulfides. These sulfides are ionic compounds that contain the sulfide ion (S^{2-}) as a negatively charged component and can be regarded as salts derived from hydrogen sulfide.

The sulfur removal rate in this prototype system unit (Fig. 2), according to laboratory experiments, is estimated at 98%. Table 1 shows the analysis of flared gas components.

Table 1 – The analysis of the components of the gas burned in the flare

Component	N-Methyldiethanol-amine (MDEA) flash drum	MDEA regenerator / reflux	Residue gas filter	Inlet gas separator
Methane	45.3	0.53	95.4	86.7
Propane	0.007	–	–	0.09
Ethane	0.20	–	–	0.62
n-butane	0.002	–	–	0.03
i-pentane	–	–	–	0.14
i-butane	0.0015	–	–	0.04
n-pentane	0.0006	–	–	0.04
H ₂ S	9.5	35.42	5 PPM	4.38
H ₂ O	3	11.13	0.01	0.05
COS	0.01	0.93 PPM	9 ppm	7.24
N ₂	0.98		0.65	0.66 ppm

In conclusion, this study highlights the critical issue of sulfur emissions from petroleum refinery flares and presents an innovative solution for their reduction. The developed prototype system effectively removes sulfur compounds using waste metals, significantly decreasing harmful emissions such as sulfur dioxide. The process not only mitigates environmental hazards but also enhances refinery efficiency. This research underscores the potential for sustainable advancements in the oil and gas industry, reducing both pollution and resource waste.

References

1. Zadakbar, O., Karimpour, K., & Zadakbar, A. (2006, October 30–31). Flare gas reduction and recovery. The First National Specialty Conference on Gas, Iran.
2. Alcazar, C., & Amilio, M. (1984). Get fuel gas from flare. *Hydrocarbon Processing*, 64(7), 63–64.
3. Fisher, P. (2002). Minimize flaring by flare gas recovery. *Hydrocarbon Processing*, 81(6), 83–85.
4. Straitz III, J. F. (1978). Flare gas stack with purge gas conservation system. United States Patent No. 4101261.
5. Sharma, R. K. (2007). Minimize your refinery flaring. *Hydrocarbon Processing*, 86(2), 105–106.
6. Reed, R. D. (1981). Control system for purge gas to flare. United States Patent No. 4265611.
7. Brant, B., & Brueske, S. (1998). New waste-heat refrigeration unit cuts flaring and reduces pollution. *Oil & Gas Journal*, 96(20), 61–65.
8. Tarmoom, I. O. (1999, February 20–23). Gas conservation and flaring minimization. Paper SPE 53321, SPE Middle East Oil Show, Bahrain.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТРЕСОСТІЙКОСТІ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Кузьміна Т., доцент; Щербаченко В., студент, Сумський державний університет, м. Суми; Бабко Р., Інститут зоології Національної академії наук України, м. Київ

Більшість річок в Україні характеризуються значним рівнем штучної трансформації їх долин і русел, що негативно вплинуло на структурне різноманіття їх біоценозів і суттєво знизило стесостійкість їх екосистем. Найбільш суттєвих втрат екосистемами річок зазнали внаслідок змін гідрологічного режиму, спричинених створенням руслових водосховищ, спрямленням і поглибленням русел, осушенням заплав. Ці зміни небезпечні тим, що їх негативні наслідки відтерміновані у часі. Вони виявляються поступово у замуленні русел, погіршенні якості води, зменшенні водності, втраті рибних запасів і, зрештою, деградації гідробіоценозів. Так, зникнення значної кількості малих річок, що відбувається в Україні з кінця 20 ст., не є наслідком зміни клімату, а прямим результатом тотальної осушувальної меліорації і масового створення руслових ставків і водосховищ. Важливим наслідком згаданих змін морфології і водного режиму річок є зниження стійкості гідроекосистем до зовнішніх стресуючих факторів, наприклад таких, як скиди забруднюючих речовин.

У серпні 2024 року в річку Сейм (басейн Дніпра) з території російської федерації було здійснено скид великого об'єму органічних і, вірогідно, токсичних речовин. Процес мінералізації органічних речовин зумовив поглинання розчиненого кисню і зниження його концентрації до 0, що спричинило масову загибель риби. Загибла риба стала додатковим джерелом забруднення води [1]. Для послаблення негативного впливу забруднення на екосистемами річок Сейм і Десна було застосовано штучну аерацію води і «розчищення» приток Десни нижче впадіння Сейму для створення можливості заходу в них риби. Ці заходи були малоєфективними внаслідок їх запізнілості і малих масштабів застосування порівняно з масштабами забруднення, однак вони були правильними за спрямуванням: насичення води киснем і відновлення приток.

Згадана ситуація спонукає до пошуку дійсно ефективних заходів, які зможуть підвищити стійкість річок до подібних негативних впливів у разі повторення подібних явищ. Штучна аерація води в річці є локальним і малоєфективним заходом, натомість ефективною є природна аерація, яка забезпечується турбулентним характером потоку води в руслі.

Порушення цього природного процесу аерації внаслідок наявності трьох переливних гребель на руслі Сейму і протоки Любки в районі м. Путивль, безумовно, стало фактором, що підсилює наслідки скиду забруднюючих речовин до річки Сейм. Греблі з часу їх спорудження у 2011 р. спричиняють застійні явища на вищерозташованих ділянках русла, накопичення мулу, переростання русла вищими водними рослинами і

вторинне забруднення. Вони забезпечили затримання і акумуляцію забруднюючих речовин, що надходили з території російської федерації, сприяли швидкому утворенню й поширенню безкисневих умов і загибелі риби. Переливна гребля споруджена також в гирлі річки Клевень – найбільшої з приток Сейму, що впадають у Сумській області, і вона стала перешкодою на шляху порятунку риби влітку 2024 р.

Явища літньої задухи риби спостерігаються і на інших зарегульованих річках, перетворених на руслові водосховища – на Пслі [2], Ворсклі [3], Сулі [4], причому без такого потужного вкиду забруднюючих речовин, як це мало місце на Сеймі. Руслові водосховища – водойми з уповільненим водообміном. В умовах уповільнення швидкості течії у водосховищах відбувається стратифікація водної товщі з утворенням стійких безкисневих зон у придонних шарах води, які можуть поширюватися і на всю водну товщу. Такі явища є нехарактерними для річок, але є характерними і типовими для руслових водосховищ. У випадках надходження в зарегульовану річку додаткових органічних або отруйних речовин зі стоками уповільнений водообмін багатократно підсилює негативний ефект і може призводити до утворення сірководню і масової загибелі риб та безхребетних організмів. Наслідки задухи в Сеймі та інших річках могли бути менш масштабними в разі нормального функціонування приток, тобто якщо б притоки залишалася вільними від гребель і шлюзів.

Стійкість річкової екосистеми до впливу забруднення забезпечується передусім наявністю течії, яка забезпечує насичення води киснем і швидке окиснення органічних речовин. Також умовами ефективною протидії впливу забруднення є проточність річки від витоків до гирла, періодичне проходження повеней, безперешкодне поповнення вод через нормальне функціонування приток і підземне живлення.

Таким чином, шляхи підвищення стресостійкості річкових екосистем – це передусім відновлення проточності та відновлення природних процесів забезпечення нормального кисневого режиму і ефективною мінералізації органічного забруднення. Також важливим є відновлення приток і заплавних озер та їхньої природної ролі у живленні річок і відтворенні рибних запасів.

Список літератури

1. Забруднення Сейму та Десни: як це сталося та ситуація наразі. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/zabrudnennya-sejmu-ta-desni-yak-ce-stalosya-ta-situaciya-narazi/>
2. У Пслі під Сумами масово загинула риба. URL: <https://suspilne.media/sumy/151294-u-psli-pid-sumami-masovo-zaginula-riba-ekoinspekcia-vzala-probi-vodi/>
3. У Ворсклі гине риба. URL: <https://zmist.pl.ua/news/u-vorskli-gyne-ryba>
4. У ріці Сула на Сумщині зафіксовано масовий мор риби. URL: <https://www.unian.ua/ecology/naturalresources/1394107-u-ritsi-sula-na-sumschini-zafiksovano-masoviy-mor-ribi-y-rakiv.html>

МЕТАБОЛІТИ БАКТЕРІЙ АКТИВНОГО МУЛУ ТА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНА АКТИВНІСТЬ

*Забара І. І., аспірантка; Пляцук Л. Д., професор;
Батальцев С. В. старший викладач, Сумський державний
університет, м. Суми*

Мікроорганізми активного мулу здатні синтезувати різноманітні метаболіти. Значна частина цих біологічних речовин, як ферменти, вітаміни, полімерні сполуки вже використовуються в різних галузях, в тому числі для створення нових біотехнологій. Актуальності набуває пошук метаболітів бактерій активного мулу з новими властивостями і можливостями. Враховуючи високий біосинтезуючий потенціал бактерій активного мулу, проведені комплексні дослідження особливостей ряду біологічно активних речовин та досліджено механізм впливу певних метаболітів бактерій активного мулу на процес біологічного очищення стічних вод. Продукти метаболізму життєдіяльності бактерій є перспективним напрямком для застосування у новітніх технологіях захисту навколишнього середовища.

Бактерії активного мулу здатні до синтезу ряду біологічно активних метаболітів-ферментів, які мають особливі властивості. Завдяки цим властивостям, їх можна використовувати для біологічної активації мікроорганізмів активного мулу. Отже, можна припустити, що проведення біологічної активації на основі клітинних метаболітів, створить можливість оздоровлення біомаси та покращення очистки стічних вод.

Традиційне біологічне очищення проходить за допомогою аеробних бактерій, яким потрібен розчинений кисень для дихання та життєдіяльності. Саме Цикл Кребса є біохімічним процесом клітинного дихання з використанням таких метаболітів, як полікарбонові кислоти. Вони відіграють важливу роль у циклі трикарбонних кислот, який також називають циклом лимонної кислоти або циклом Кребса – універсальному етапі окислювального катаболізму вуглеводів, ліпідів та інших сполук у присутності кисню, який виконує роль генератора водню для дихального ланцюга.

Хоча цикл Кребса зображується як замкнутий ферментативний процес, слід відзначити одну особливість: оборотність ферментативних реакцій на ділянці від сукцинату до оксалоацетату. Тому в мітохондріях ця гілка може працювати у зворотному напрямку. Крім того, не можна не враховувати анаболічну функцію циклу Кребса, оскільки субстрати використовуються для синтезу інших речовин.

Для вивчення впливу карбонових кислот циклу Кребса на процеси очищення стічних вод були проведені дослідження в експлуатаційних умовах очисних споруд міста Суми.

Виконання експерименту проводилось поетапно у комплексі з дослідженням гідробіологічних показників.

На першому етапі дослідження аналізували вплив 0,08% розчину

лимонної кислоти на біоценоз активного мулу, використовуючи метод біологічної активації мікроорганізмів.

Другий етап передбачав вивчення дії 0,08% розчину бурштинової кислоти на біоценоз активного мулу за аналогічною методикою.

Третій етап був спрямований на оцінку комбінованого впливу лимонної та бурштинової кислот на біологічну активність мікроорганізмів активного мулу.

Четвертий етап полягав у дослідженні комплексного впливу суміші лимонної, бурштинової та яблучної (малонової) кислот на біоценоз активного мулу шляхом біоактивації мікроорганізмів.

Отримані результати дозволяють охарактеризувати особливості змін у біоценозі активного мулу під час очищення стічних вод у присутності карбонових кислот циклу Кребса:

1. Лимонна кислота сприяє прискоренню процесів нітрифікації та гальмує розвиток нитчатих бактерій.

2. Бурштинова кислота стимулює зростання бактеріальних колоній і сприяє збільшенню видової різноманітності активного мулу.

3. Поєднаний вплив (з поетапним введенням метаболітів) лимонної та бурштинової кислот позитивно впливає на нітрифікацію, підвищує видовий склад мікроорганізмів активного мулу, а також покращує його седиментаційні властивості у вторинних відстійниках.

4. Комплексний вплив лимонної, бурштинової та малонової кислот (із поступовим додаванням метаболітів) підсилює нітрифікаційні процеси та сприяє регуляції кількісного складу активного мулу.

Біологічна активація мікроорганізмів активного мулу за допомогою метаболітів циклу Кребса дає змогу створити умови для саморегулювання життєдіяльності біомаси, особливо в стресових умовах очисних споруд. Дослідження клітинних метаболітів має фундаментальне і прикладне значення для оздоровлення біомаси очисних споруд та покращення біологічної очистки стічних вод. На сьогоднішній день застосування клітинних метаболітів активного мулу зовсім незначні на території України і потребують подальшої розробки для отримання сучасних біотехнологій.

Список літератури

1. Курс лекцій з біохімії. Розділ «Загальні закономірності метаболізму. Молекулярні основи біоенергетики» / укладачі: Л.І. Гребеник, І.Ю. Висоцький. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 74 с.

2. Біологічна хімія : підручник / Губський Ю. І., Ніженковська І. В., Корда М. М. [та ін.] ; за ред. І. В. Ніженковської. – Вінниця : Нова Книга, 2021. – 648 с.

3. Забара І. І. Саморегуляція активного мулу // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: збірник наук. статей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15-16 вересня 2022 р.) / УКРНДІЕП., 2022. – 396 с.

**СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРІЯ»**

ЗАЛЕЖНІСТЬ КІНЦЕВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ГРАНУЛ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ВІД ЇХ РОЗМІРУ В ПРОЦЕСІ ОХОЛОДЖЕННЯ У ГРАНУЛЯЦІЙНІЙ БАШТІ

Нічволодін К. В., асп. гр. А-25/ХТ, Сумський державний університет, м. Суми

У роботі досліджено залежність кінцевої температури гранул мінеральних добрив від їх розміру в процесі охолодження в грануляційній башті. Особливу увагу приділено аналізу процесів теплообміну, що відбуваються в робочому просторі гранулятора, та впливу розміру гранул на інтенсивність тепловіддачі.

Розроблено математичну модель, яка враховує геометричні та технологічні характеристики гранул, швидкість руху теплоносія, початкові температури гранул і навколишнього середовища. Результати чисельного моделювання ілюструють зміну температурних полів гранул залежно від їх діаметра, часу охолодження та параметрів процесу гранулювання. Отримані дані дозволяють оптимізувати конструкцію грануляційної вежі та режими охолодження для забезпечення рівномірного зниження температури, покращення фізико-механічних властивостей гранул та підвищення якості продукції.[1]

Останні досягнення в технології грануляційних башт, включаючи використання вібраційних обертових грануляторів, значно покращили якість гранульованих продуктів. Ці гранулятори виробляють гранули однакового розміру, застосовуючи вібрацію до високотемпературних потоків розплавлених мінеральних добрив. Процес забезпечує ефективну кристалізацію та формування гранул. Однак такі проблеми, як недостатня подача охолоджуючого повітря та підвищена температура навколишнього середовища, потребують подальшого вдосконалення.[2]

Результати дослідження пропонують рекомендації для промислового застосування, включаючи регулювання розмірів гранул або збільшення потоку охолоджуючого повітря для досягнення бажаних температур гранул без шкоди для якості та без надмірного утворення пилу.

Список літератури

1. Нічволодін, К., Склабінський, В., & Юрченко, О. (2024). Визначення температури гранул мінеральних добрив після контакту з повітрям у грануляційній вежі. *Технологічний аудит і виробничі резерви*, 4(3(78)), 28–32. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.310855>

2. Склабінський, В. І., Кононенко, Н. П., Скиданенко, М. С. Ефективність промислового впровадження модернізованого обертового вібраційного гранулятора плава в агрегатах одержання аміачної селітри // *Хімічна промисловість України*. – 2012. – № 3 (110). – С. 73-76.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ГІДРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФРАКЦІОНУВАННЯ ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ У ГІДРОКЛАСИФІКАТОРАХ З ВИСХІДНИМ ПОТОКОМ

Криводуб Д. Г., аспірант групи А-35/МБ; Михайловський Я. Е., доцент кафедри хімічної інженерії, Сумський державний університет, м. Суми

Фракціонування зернистого матеріалу в гідрокласифікаторах з висхідним потоком рідини є важливим процесом у хімічній, гірничодобувній та переробній промисловості. Гідродинамічні параметри системи визначають ефективність розподілу частинок за розміром і густиною, що впливає на якість кінцевого продукту. У гідрокласифікаторах встановлюється баланс між силою гравітації, виштовхувальною силою Архімеда та силою гідродинамічного опору, що сприяє розподілу частинок у висхідному потоці.

Експериментальне та чисельне моделювання дозволяють визначити оптимальні режими роботи гідрокласифікаторів, забезпечуючи максимальну ефективність розділення фракцій. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення конструкції апаратів та адаптацію процесу до різних типів матеріалів, що підлягають фракціонуванню. Ключові дослідження останнього десятиліття були спрямовані на вивчення впливу швидкості потоку, розміру частинок та їх густини на ефективність фракціонування. Серед важливих результатів можна відзначити моделі, що враховують турбулентність потоку та вплив міжчастинкових взаємодій. Проте ці моделі ще не завжди здатні враховувати весь спектр реальних умов експлуатації.

Класифікацію сипкого матеріалу за розміром частинок можна здійснити в гідравлічних або пневматичних класифікаторах залежно від середовища, що використовують для цього. За принципом розділення гідравлічні класифікатори бувають відстійними та відцентровими.

Основним апаратом гідравлічної класифікаційної установки зазвичай є сортувальна колона, в якій висхідний потік рідини знаходиться в прямому контакті з потоком живильної пульпи, що рухається протилежно висхідному потоку. Їх також називають класифікаторами протиструмового потоку.

За принципом дії та конструктивними особливостями гідравлічні класифікатори поділяють на дві групи: 1) гідравлічні класифікатори без утворення киплячого шару; 2) гідравлічні класифікатори з киплячим шаром, що характеризується регулюючим пристроєм для контролю нижнього викиду та досягнення рівномірної щільності шару.

У потоці частинки класифікуються відповідно до кінцевої швидкості, тобто швидкості, якої досягає частинка, падаючи в рідину, що знаходиться в спокої. Каменен [1] запропонував емпіричну кореляцію на основі ранжування даних від режиму Стокса до течій з критичним числом Рейнольдса.

Список літератури

1. Camenen B. S. Simple and general formula for the settling velocity of particles. *J. Hydraulic Engr.* 133 (2007), p. 229–233.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАЛІЗНОГО КУПОРОСУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ В АПАРАТІ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

*Кірний В. Л., аспірант; Юхименко М. П., доцент кафедри хімічної інженерії,
Сумський державний університет, м. Суми*

Сульфатний метод виробництва двоокису титану супроводжується утворенням великої кількості відходів, зокрема залізо (II) сульфат гептагідрату (залізного купоросу). Накопичення цих відходів створює екологічні проблеми, що робить актуальними дослідження їх утилізації. Перетворення залізного купоросу в моногідратну форму підвищує рівень його промислового застосування, суттєво знижує транспортні витрати.

Ефективність процесу дегідратації залізного купоросу залежить від фізико-хімічних властивостей вихідного матеріалу, конструкції установки та параметрів сушильного процесу. Важливим етапом розробки ефективного процесу є комплексне дослідження властивостей залізного купоросу, обґрунтування вибору конструкції апарату, побудова математичної моделі.

Залізний купорос містить значну кількість кристалізаційної вологи. Її видалення може проводитись багатьма методами. Один з перспективних - сушіння в секціонованих апаратах киплячого шару з направленим рухом матеріалу. Використання киплячого шару дозволяє інтенсифікувати тепло- та масообмін за рахунок турбулентного руху частинок. Рівень інтенсивності кінетики тепло- та масообміну залежить в тому числі від гранулометричного складу, форми частинок та вмісту вологи в матеріалі.

Для вивчення фізико-хімічних властивостей залізного купоросу нами використовувались мікроскопічний аналіз, ситовий аналіз, пікнометричний аналіз, титрування (для визначення масової частки Fe^{2+} , вільної H_2SO_4), спектрофотометрія (для аналізу наявності домішок TiO_2), термогравиметрія (для оцінки вмісту вільної та кристалізаційної вологи).

Були досліджені зразки залізного купоросу вітчизняного виробництва двоокису титану (з місця закритого складування) та виробництва Туреччини (без домішок TiO_2). Результатами дослідження зразків були гранулометричний склад та форму частинок, хімічний склад: вміст FeSO_4 , Fe^{2+} , H_2SO_4 , визначені еквівалентний діаметр (0,52 мм), насипна (911 кг/м^3), істинна (1888 кг/м^3) густина, вміст вільної (2,2%), кристалізаційної (38-45%) вологи.

Дегідратація залізного купоросу є складним багатофакторним процесом. Видалення в процесі сушіння значної кількості кристалізаційної вологи впливає на зміну маси та розмірів частинок, а процеси плавлення на поверхні кристалів викликають появу їх агломератів. Це призводить до змін гідродинамічного режиму зважування в апараті. Сушіння в багатосекційному апараті дозволить зменшити ризики порушення сталого режиму.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В НАСАДКОВИХ АБСОРБЕРАХ

Буділовський О. В., студент групи МБ-21; Михайловський Я. Е., доцент кафедри хімічної інженерії, Сумський державний університет, м. Суми

Одним із способів очищення нафтових та природних газів від кислих компонентів є процес хемосорбції, який часто проводять у насадкових абсорберах. Абсорбент, насадка та режимні параметри процесу, що застосовують при цьому, відіграють вирішальну роль під час визначення капітальних та експлуатаційних витрат на проведення процесу.

Одним із основних етапів розробки процесу хемосорбції є вибір поглинача. Він повинен мати досить високу поглинальну здатність щодо цільових компонентів; легко регенеруватися; мати селективність; не піддаватися структурним змінам (розкладанню, окисленню, осмоленню тощо); бути дешевим і доступним; не надавати корозійного впливу на апаратуру; забезпечувати досить високий коефіцієнт масопередачі.

Проаналізувавши та порівнявши існуючі способи очищення вуглеводневого газу від кислих домішок, дійшли висновку, що найбільш застосованим способом є аміновий, а поглиначем, що відповідає більшості вимог, є метилдіетаноламін (МДЕА).

Не менш важливим етапом є вибір насадки, яка повинна мати велику питому поверхню, мати низький гідравлічний опір, забезпечувати широкий діапазон навантажень за рідиною та газом, бути доступною, недорогою й мати корозійну стійкість у робочому середовищі. На основі аналізу літературних джерел було обрано насадку ІНЖЕХІМ-2004, як таку, що задовольняє більшості вимог.

Розроблено алгоритм оптимізаційного розрахунку процесу хемосорбційного очищення природного газу від кислих домішок у насадковому абсорбері. Практична реалізація цього алгоритму як програмного пакета планується в середовищі Visual C++.

Вихідними даними для оптимізаційного розрахунку є такі: витрата та склад газу, що надходить, властивості абсорбенту, ціни на поглинач, насадку та конструкційні матеріали. Параметрами, що варіювали, обрані такі: температура та тиск, за яких протікає процес, а також витрата абсорбенту та типорозмір насадки. Цільовою функцією прийнято сумарні витрати на проведення процесу.

Розрахунок включає такі основні етапи: складання та розв'язання рівнянь матеріальних і теплових балансів; розрахунок швидкості протікання процесу, залежно від швидкостей хімічних реакцій і розчинності компонентів; визначення робочого об'єму та габаритних розмірів апарата; розрахунок сумарних витрат на проведення процесу та вибір оптимального варіанту, що відповідає мінімуму цільової функції.

ОГЛЯД МЕТОДИК АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ДІАМЕТРА ЧАСТИНОК ПОЛІДИСПЕРСНОЇ СУМІШІ

*Корнієнко І. М., студ. гр. МБ-21/2кі, Юхименко М. П., доц. каф. ХІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Сипкі матеріали, які використовуються в хімічній, нафтохімічній та нафтопереробній промисловості, складаються, як правило, з частинок неоднакового розміру, тобто мають певний полідисперсний склад. Тому при проведенні гідродинамічних розрахунків доводиться оперувати середньою величиною діаметра частинки.

Відомо декілька способів визначення середнього діаметра частинки. Ці способи ґрунтуються на тому, що шар поділяють на декілька фракцій шляхом просіювання через сита, діаметр отворів яких послідовно зменшується.

Є декілька методик визначення середнього діаметра частинок. Середній діаметр кожної фракції d_i може бути визначений як середньоарифметичний:

$$d_{cp} = \frac{d_{i1} + d_{i2}}{2} \quad (1)$$

або як середньгеометричний:

$$d_{cp} = \sqrt{d_{i1} \cdot d_{i2}} \quad (2)$$

де d_{i1} - діаметр прохідних отворів сита, мм; d_{i2} - діаметр непрохідних отворів сита, мм.

Більш точними є такі визначення середнього діаметра частинок, як середньгармонічний

$$d_{cp} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i} \quad (3)$$

або середньозважений

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^n x_i d_i \quad , \quad (4)$$

де x_i - вагова частка частинок діаметром d_i .

Результати розрахунків за формулами (1) та (2) показують, що максимальна розбіжність у отриманих результатах складає 5%.

Результати розрахунків за формулами (3) та (4) показують, що чим більший гранулометричний склад сипкого матеріалу, тим більша розбіжність у отриманих значеннях середнього діаметра частинок. Розбіжність збільшується від 2% (для 2-х фракцій) до 25% (для 4-х фракцій).

Тому при гідродинамічних розрахунках необхідно зазначати, яка методика визначення використовувалася.

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКІСТІ ВИТАННЯ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ПРИ ЇХ ПНЕВМОТРАНСПОРТУВАННІ

*Середа Б. О., студ., гр. МБ-21/2кі; Юхименко М. П., доц. каф. XI,
Сумський державний університет, м. Суми*

У хімічних, будівельних, харчових і переробних галузях промисловості широко застосовують пневмотранспортні установки для переміщення сипучих матеріалів на задану висоту. Для стабільної роботи цих установок необхідно підтримувати певну робочу швидкість транспортного потоку, щоб не спостерігалось явище «завалу», за якого припиняється робота пневмотранспортних установок. Цю робочу швидкість потоку визначають як функцію швидкості витання твердих частинок. Тому під час розрахунків і проектування пневмотранспортних установок важливим етапом є аналітичне визначення швидкості витання твердих частинок.

Достатньою точністю і зручністю визначення (порівняно з експериментальним) володіє формула Горошка, Розенбаума і Годеса, дійсна в дуже широкому інтервалі зміни критерію Архімеда (аж до $Ar=10^8$):

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}.$$

Недоліком цього підходу є визначення швидкості витання для одиночної (ізолюваної) частинки.

В умовах же пневмотранспорту потік є обмеженим унаслідок впливу стінок трубопроводу і підвищеної концентрації твердих частинок у потоці. Тому рекомендується під час розрахунків для реальних умов практичну швидкість витання наближено приймати рівною половині теоретичної. Це наближення є дуже грубим, оскільки для великих частинок (розміром понад 100 мкм) воно може відповідати дійсності, а для більш дрібних, унаслідок утворення агломератів у потоці, видасть помилкові результати.

Тому більш точними є формули, що враховують стиснення потоку за рахунок впливу об'ємної концентрації твердих частинок (β) у газовому потоці:

$$Re_{вст} = \frac{Ar(1-\beta)^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar(1-\beta)^{4,75}}}, \quad \lambda Re_{вст} = \frac{4}{3}(1 - 1,2\beta^{2/3})^2.$$

Результати розрахунків за ціми формулами показують, що збільшення об'ємної концентрації твердих частинок у потоці значно впливає на швидкість витання. За концентрації $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ швидкість витання приблизно на 15-18 % нижча від швидкості витання поодинокі частинки. Тому за об'ємної концентрації понад $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ необхідно враховувати вплив концентрації твердих частинок у газовому потоці.

ОГЛЯД МЕТОДИК АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОЧАТКУ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

*Цахаєв І. С., студ. гр. МБ-21/2кі; Юхименко М. П., доц. каф. ХІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Швидкістю початку псевдозрідження називається швидкість, при якій рух потоку рідини чи газу спричиняє розширення шару зернистого матеріалу і хаотичний рух твердих частинок в ньому. Тобто початок псевдозрідження настає тоді, коли порушується сталість нерухомого шару зернистого матеріалу.

Псевдозрідження є достатньо складним процесом, так як на нього впливають умови руху твердих частинок, нерівномірність локальних швидкостей газового потоку, його турбулентності, хаотичного зіткнення частинок між собою, полідисперсності шару частинок і т.д. Тому є значна кількість формул для визначення швидкості початку псевдозрідження.

Найбільш розповсюдженою є формула Годеса:

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1)$$

Більш точнішою є формула, яка враховує порізність нерухомого зернистого шару ε_0 та вагову частку вузької фракції x_n :

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{(150 \frac{1 - \varepsilon_0^3}{\varepsilon_0^3} [1 + x_1(i_1 - 1) + \dots + x_{n-1}(i_{n-1} - 1)]^2 + \sqrt{\frac{1,75}{\varepsilon_0^3} [1 + x_1(i_1 - 1) + \dots + x_{n-1}(i_{n-1} - 1)] Ar}} \quad (2)$$

Відомі також формули:

$$w_{кр} = \frac{0,005d^2(\rho_T - \rho)\varepsilon_0^3 f^2 g}{\mu(1 - \varepsilon_0)} \quad (\text{при } Re_{кр} < 10), \quad (3)$$

$$Re_{кр} = Ar\varepsilon_0^{4,8} [18 + 0,61Ar^{0,5}\varepsilon_0^{3,3} (1 + \frac{(\rho_T + \rho)(1 - \varepsilon_0)}{\rho})^{0,5}]^{-1} \quad (4)$$

Аналіз розрахунків показав, що рівняння (1), (2), (3), та (4) надають достатньо близькі один до одного значення критичної швидкості початку псевдозрідження. Розбіжність між значеннями складає 10 – 20%.

РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТА АПАРАТУРНО-КОНСТРУКТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ СЕПАРАЦІЇ

Ляпощенко О. О., д-р техн. наук, професор; Скиданенко М. С., канд. техн. наук, доцент, Сумський державний університет, м. Суми; Бондар Д. І., аспірант, Сумський державний університет, ТОВ «Пневмотехніка», м. Суми; Єсипчук С. С., аспірант, Сумський державний університет, м. Суми; Кравець В. Г., аспірант, Сумський державний університет, ТОВ «Інвентум Україна», м. Суми

Режимно-технологічна та апаратурно-конструктивна оптимізація технологічних ліній та комплексів хімічних та нафтогазопереробних виробництв представляється актуальним науково-прикладним завданням в галузевому машинобудуванні. Зокрема, на даному етапі досліджень метою є моделювання та оптимізація систем сепарації з осушенням стисненого повітря в компресорних установках, гідродинаміка вихрової камери трьохфазного сепаратора, режимно-технологічна та апаратурно-конструктивна оптимізація малотоннажної установки переробки вуглеводневої сировини.

У відповідності до поставлених завдань проведено огляд літератури з теоретичних та технологічних основ підготовки до переробки (сепарації), перегонки та фракціонування, вторинної (поглибленої) переробки вуглеводнів. Узагальнено матеріали патентного пошуку з визначенням основних способів режимно-технологічної та апаратурно-конструктивної оптимізації малотоннажних установок переробки вуглеводневої сировини.

Виготовлено дослідний стенд для фізичних оптимізаційних моделювань розробленої системи сепарації з проміжним охолодженням та осушенням стисненого повітря. За результатами проведення оптимізаційних моделювань передбачається розробка режимно-технологічних і апаратурно-конструктивних способів інтенсифікації процесів сепарації з осушенням повітря при компримуванні, прогнозується підвищення ефективності та надійності сепараційного обладнання компресорних установок, а також розробка рекомендацій до оптимізаційного проектування систем сепарації з осушенням стисненого повітря для галузі компресоробудування.

Розроблено окремі клас конструкцій та типорозмірів вихрових камер для трьохфазних сепараторів на підставі визначених ефективних механізмів та методів розділення (сепарації) багатofазних систем і узагальнення матеріалів патентного пошуку з визначенням основних способів інтенсифікації процесів розділення багатofазних систем та підвищення ефективності сепарації фазних розділювачів. CFD-методами досліджено гідродинаміку вихрової камери сепаратора з режимно-технологічною та апаратурно-конструктивною оптимізацією розроблених різних конструкцій та типорозмірів.

Основні результати одержані у рамках виконання НДР № 0121U112684.

АНАЛІЗ УМОВ РЕГЕНЕРАЦІЇ ГЛІКОЛІВ

*Яковенко Д. В., студ. гр. Хм.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Істотний вплив на осушення природного газу має глибина регенерації розчину абсорбенту, що насичений водою. Якщо концентрація регенованих розчинів у межах від 96,0% до 97,5 % то застосовують десорбцію за умов тиску, близького до атмосферного. Проте прагнення до підвищення концентрації розчину до 98,0% або навіть до 99,95 % зумовило необхідність впровадження регенерації під вакуумом або додавання нейтрального газу в систему десорбції, такого як природний газ. Також часто використовується метод азеотропної ректифікації.

Регеновані розчини гліколів концентрацією до 99,95 % можна отримати шляхом уводу віддувочного (осушеного) у регенераційну колону, у випарник, або шляхом застосування азеотропної ректифікації. У результаті більш високої температури термічного розкладання триетиленгліколю його можна нагрівати до вищих температур при атмосферному тиску порівняно з діетиленгліколем. Ефективність осушки газу гліколями здебільшого має залежність також і від температур контакту газу з поглиначом і залишкового вмісту вологи в регенованому гліколі. Технологія регенерації має забезпечувати концентрацію гліколів, необхідну для досягнення осушки газу до температури точки роси, визначеної проектними параметрами абсорбера. Вибір найбільш прийнятної схеми регенерації гліколів потребує ретельного технічного та економічного обґрунтування.

Процес регенерації за атмосферного тиску широко використовується в промислових та в установках низькотемпературної сепарації на заводах для видалення води з концентрацією до 70 % розчинів етиленгліколів й підвищення їхньої концентрації до 80 % мас. Розчини підігріваються у парових або вогневих випарниках. В Україні цей метод також використовують на установках осушки газу у спорудах магістральних газопроводів, якщо точки роси газу, що осушується, сягають -10°C .

Особливо практичний інтерес становлять схеми регенерації гліколю, які замість вакууму передбачають видувку газом. Однак слід враховувати, що використання вакуум-насоса доцільно замінити на циркуляційний компресор, оскільки випуск віддувочного газу в атмосферу є економічно та екологічно недоцільним.

Такі схеми мають недоліки. Це необхідність відведення віддувочного газу й водяної пари в атмосферу. Це призводить до втрат газу та забруднення навколишнього середовища. Для усунення цих втрат додатково встановлюються циркуляційні газодувки та колони для додаткового сушіння циркулюючого газу, що істотно підвищує вартість процесу.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ НА ПОЯВУ ГІДРАТІВ

*Котов Ю. В., студ. гр. Хм.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Подальший розвиток видобутку та транспортування природного газу працівники газової промисловості стикаються із серйозною проблемою боротьби з гідратами, що створюються у вуглеводневих газах. Ці кристалічні утворення, схожі на сніг або лід, формуються внаслідок взаємодії молекул вуглеводнів і води та називаються гідратами. Такі гідрати мають в основному дві структурні форми. У газових гідратах вода створює кристалічну решітку, порожнини якої заповнюються молекулами вуглеводнів. При обробці газів із вмістом сірки та водню їх розчинення в гліколі може спричинити серйозну корозію обладнання та забруднення довкілля. Дослідження показують, що формування гідратів починається з моменту утворення центрів кристалізації. Ці центри зазвичай виникають на межах розділу фаз: вода - скраплений газ, вода - газ, зріджений газ - вологий газ, а також при конденсації води з газової фази або на бульбашках газу, що проходить через воду. Крім того, контакти води з металом сприяють сорбції газу, розчиненого у воді, що також ініціює формування гідратів.

Існує певна залежність щодо переходу газу в гідратну структуру від тиску й температури. Аналіз цих даних свідчить, що зі збільшенням тиску та зниженням температури швидкість утворення гідратів зростає. Проте при дуже низьких температурах збільшення тиску вже не має значного впливу на цей процес. Навпаки, підвищення температури сповільнює формування гідратних структур. Практичний інтерес представляє додавання до системи певних органічних речовин, таких як метанол, етиленгліколь, етанол і пропанол, які впливають на швидкість гідратоутворення. Наприклад, введення метанолу змінює кількість пропану, що зв'язується у гідрати, та тривалість їх формування. Якщо концентрація метанолу у розчині вода-метанол збільшується, то кількість пропану у суміші досягає максимуму, який збільшується зі зростанням часу утворення гідратів.

Також присутність азоту в природному газі приводить до зниження температури формування гідратів, тоді як сірководень і діоксид вуглецю підвищують температурні показники цього процесу. У ході транспортування газоконденсату, особливо нестабільного, трубопроводами за присутності в ньому прісної або слабомінералізованої води разом із природним газом може привести до утворення гідратних пробок. При формуванні гідратів легких вуглеводнів відбувається захоплення крапель конденсату. Ці краплі конденсату ніби "охоплюються" кристалами гідрату. Варто зазначити, що об'єм конденсату, включеного до структури льоду, десь приблизно в 1,5-2 рази менший, ніж при утворенні гідратів.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ОСНОВНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВОЇ СУМІШІ ВІД СІРКОВОДНЮ

*Лаврик А. І., студ. гр. Хм.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

У промисловій сфері існує близько двадцяти різних методів видалення сірководню з газової суміші. Першу групу складають так звані "сухі" методи, які базуються на використанні твердих адсорбентів або реагентів для очищення. До другої групи належать абсорбційні методи, що передбачають застосування рідких реагентів або поглиначів.

Сухі методи очищення газів забезпечують майже повне видалення домішок, до 100 %, однак вони мають суттєвий недолік — низьку продуктивність. Це обумовлено невисокою швидкістю проходження газу через апарати очищення та низьким тиском. Саме тому в промисловості значно частіше використовують абсорбційні (мокрі) способи очищення, які дозволяють працювати з вищими швидкостями потоку та підвищеним тиском. Мокрі методи очищення суміші газів від сірководню поділяються на окисні, кругові та комбіновані. В рамках окисних процесів для очищення застосовують поглиначі, здатні окислювати сірководень до елементарної сірки. Комбіновані процеси очищення базуються зазвичай на використанні розчину аміаку як поглинача. Під час каталітичного окиснення сірководню він утворює сульфат амонію. У методах мокрогрого очищення газ пропускають через відповідний поглинач, який абсорбує сірководень. Після цього поглинач підлягає відновленню з виділенням сірки та сірководню.

Основною особливістю кругових методів видалення з газу сірководню це виділення сірководню з абсорбенту в концентрованому стані, що дозволяє здійснювати його подальшу переробку на сірчану кислоту або елементарну сірку. Як поглинач найчастіше використовується моноетаноламін, який, окрім сірководню, також абсорбує вуглекислий газ.

У промисловості широке застосування знайшли також лужні та карбонатні методи. Ці технології стали популярними в багатьох країнах завдяки відносно низьким затратам на процес і доступній вартості отриманої сірки. Під час регенерації сірководень отримують зазвичай у вигляді газу великої концентрації. Такий газ може бути використаний для виробництва сірчаної кислоти методом спалювання сірководню. Іншим варіантом є отримання елементарної сірки через процес каталітичного окиснення.

Найвищого ступеня очищення газу до мінімального вмісту слідів сірководню досягають за допомогою етаноламінового методу, що також виділяється своєю простотою. У цьому процесі найбільш поширення отримали насадкові (з поверхневим контактом) і барботажні тарільчасті абсорбери. Проте основними недоліками абсорбційних методів залишаються утворення рідких відходів та громіздкість необхідного обладнання.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ АЗОТНИХ І КОМПЛЕКСНИХ ДОБРИВ

*Гаджів М. М., студ. гр. Хм.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Покращення властивостей добрив з аміачної селітри й карбаміду до рівня світових стандартів є одним з завдань для підприємств, що виробляють мінеральні добрива. Одним із перспективних підходів у цьому напрямку є виробництво продукту під умовною назвою «гран» з гранулами розміром 3-5 мм і міцністю понад 1,8 кг на гранулу, що передбачає додання до складу частинок різних домішок. Проте існуючі виробничі лінії та грануляційне обладнання, пристосовані до випуску продукту під назвою «прилл», не в повній мірі забезпечують виконання таких вимог.

Виробництво продукції марки «гран» також стикається з проблемами значних втрат продукту у вигляді пилу, прилипають на поверхні обладнання, а також підвищеним зносом диспергувального устаткування під час застосування домішок. Раціональним підходом до підвищення якості продукції та збільшення її асортименту для промислових виробничих потужностей є метод, при якому розплав добрива поділяється на дві частини. Перша частина використовується для отримання частинок розмірами від 0,1 мм до 0,5 мм, а друга призначається для розпилення в апараті обкатування на шар дрібнодисперсних частинок, отриманих із першої частини.

Під час науково-дослідних і дослідно-промислових випробувань на тарілчастому грануляторі було встановлено такі ключові моменти:

- Процес гранулювання доцільно проводити в умовах, близьких до автотермічного режиму. Це дозволяє суттєво знизити енерговитрати на виробництво гранульованих добрив і зменшити втрати продукту через утворення пилу.

- Температура шару гранул у апараті обкатування має становити близько 70 % від температури плавлення продукту. За таких умов значно покращується процес утворення гранул. Зниження температури може приводити до отримання гранул зниженої міцності і неправильної форми гранул, тоді як її підвищення спричиняє комкування частинок і порушення самого процесу грануло утворення.

- Введення в шар гранул порошкоподібних домішок у процесі обкатування дозволяє отримати види комплексних добрив в основі яких є карбамід або аміачна селітра.

Застосування комбінованої схеми організації виробництва азотних і комплексних добрив на основі зазначених технологій відкриває можливість використання наявної потужності для виготовлення розплаву. Це дозволяє значною мірою знизити висоту грануляційних башт, та відповідно капітальні витрати при їх будівництві, забезпечуючи при цьому виробництво високоякісного продукту «гран».

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

МЕХАНІЧНА АКТИВАЦІЯ ФОСФОРИТНОГО БОРОШНА В АКТИВАТОРАХ УДАРНОЇ ДІЇ

*Піддубний В. С., студент групи МБ-21; Щома Я. А., студент групи МБ-21;
Івченко С. О., студент групи МБ-21; Скиданенко М. С., канд. техн. наук,
доцент, Сумський державний університет, м. Суми*

Для підвищення врожайності сільськогосподарських угідь необхідне застосування високих норм фосфорних добрив і широке використання фосфоритного борошна як меліоративного засобу, особливо на кислих і збіднених фосфором ґрунтах. Фосфоритне борошно є найдешевшим, але порівняно малоєфективним добривом, оскільки P_2O_5 міститься в ньому у формі, що важко засвоюється рослинами. Для використання як добрива переважна частина апатитів і фосфоритів переводиться в розчинні сполуки із застосуванням термічного збагачення або взаємодією фосфатних руд з мінеральними кислотами. У зв'язку з пошуками нових способів перероблення фосфорної сировини на добрива, дешевших, ніж кислотне і термічне її розкладання, останнім часом з'явилася низка робіт, пов'язаних із механічним її обробленням. При інтенсивному механічному впливі на фосфати в апаратах високої енергонапруженості вдається збільшити їхню реакційну здатність. Фосфати набувають розчинності в лужному розчині нітрату амонію, залежної від умов та інтенсивності механічного впливу, і стають добривами, які значно краще засвоюються рослинами.

Для дослідження впливу числа і швидкості ударного навантаження на зміну фізико-хімічних властивостей дисперсних матеріалів, що обробляються в подрібнювачах-активаторах ударної дії, було використано багатоступеневу експериментальну установку. Установка також дає змогу вивчити вплив частоти ударного впливу на зміну фізико-хімічних властивостей оброблюваних матеріалів. З отриманих експериментальних даних видно, що фосфорит піддавався обробці в однороторному подрібнювачі і вміст лимонно-розчинного фосфору, зростає зі зростанням числа і швидкості навантаження. Залежність вмісту лимонно-розчинного фосфору від числа навантажень має лінійний характер, від швидкості навантаження - поліномний.

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що на величину акумульованої в дисперсному матеріалі енергії під час механічної активації в подрібнювачах-активаторах ударної дії вирішальний вплив чинить швидкість і число ударних навантажень. З отриманих експериментальних даних щодо приросту вмісту лимонорозчинного P_2O_5 видно, що процес розчинення активованого фосфориту відбувається з витратою енергії активації, яка втричі нижча за величину енергії активації, ніж у неактивованого, що підтверджує ефективність механічної активації.

Робота виконана за підтримки МОН України «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (ДР № 0121U112684).

РОБОТА ВІБРАЦІЙНИХ ГРАНУЛЯТОРІВ У ГРАНУЛЯЦІЙНИХ БАШТАХ: ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС ДИСПЕРГАЦІЇ АЗОТНИХ ДОБРІВ

*Каруцький А. Ю., аспірант гр. А-45/МБ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Обертові вібраційні гранулятори (ОВГ) ефективно застосовуються у грануляційних баштах для виробництва азотних добрив, забезпечуючи отримання більш рівномірного розподілу гранул, ніж при використанні інших типів грануляторів. Принцип дії заснований на розпаді струменів рідини, що витікають із отворів обертової корзини. При низькій швидкості витікання розпад залежить від збурень, що виникають в середині корзини, тоді як при високій швидкості - ключову роль відіграє аеродинамічний вплив.

При теоретичному дослідженні увага приділялася обертовому руху корзини гранулятора. Це обумовлене тим, що в баштах великого діаметру для заповнення поперечного перерізу гранулами швидкість обертання корзини повинна досягати 200 об/хв, в результаті чого з'являється окружна швидкість струменя, краплі, гранули, що має достатньо велике значення. Це може призвести до появи крапель супутників і утворенню пилу.

За допомогою отриманих рівнянь [1] і заданих параметрів грануляційної башти (діаметр башти 26 м, висота 80 м, навантаження по плаву 180 об/хв) були побудовані траєкторії руху гранул по висоті башти в залежності від радіусів корзини (точок виходу) та зміна швидкості гранул.

Теоретичні дослідження доказують, що обертовий рух корзини гранулятора спричиняє появу додаткових чинників, які потрібно враховувати:

- при визначенні швидкості горизонтальної компоненти руху крапель і гранул для уникнення налипання некрystalізованих крапель на внутрішньому стволі башти;

- під час обчислення вертикальної компоненти руху крапель і гранул з метою подальшого аналізу їх взаємодії з потоком повітря, що підіймається та визначенням кінцевої температури гранул;

- при прогнозуванні траєкторій руху гранул, які залежать від початкових умов, сформованих у процесі роботи ОВГ, а також визначенні можливості перетину траєкторій гранул для декількох грануляторів у башті;

- для аналізу взаємодії потоків гранул і повітря щодо появи несприятливих умов для повторного подрібнення крапель і утворення неоднорідного складу гранул кінцевого продукту.

Список літератури

1. Склабінський В.І., Гусак О.Г., Юрченко О.Ю., Нічволодін К.В. Особливості розташування декількох обертових вібраційних грануляторів (ОВГ) у одній грануляційній башті. Праці ТДАТУ. Технічні науки. Випуск 24, том 3, 2024, с. 53 – 61. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3-4>.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ФОРМУВАННЯ КРАПЕЛЬ ПІД ВПЛИВОМ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ

Табачун М. О., аспірант; Маринченко Д. Д., аспірант; Болтушенко В. Ю., студент групи МБ-11; Скиданенко М. С., канд. техн. наук, доцент, Сумський державний університет, м. Суми

Сучасне виробництво гранульованих азотних добрив тільки в Україні обраховується мільйонами тон в рік і йде тенденція до постійного зростання. Очікується, що до 2030 року щорічний ріст світового споживання мінеральних добрив буде на рівні 5,42%. Така тенденція спонукає підприємства хімічної промисловості до збільшення об'ємів виробництва, що в свою чергу нерозривно пов'язане з модернізацією існуючого обладнання.

У сучасних великотоннажних виробництвах азотних добрив найбільше застосування знайшли статичні та обертові приллери. Все більшого впровадження в промисловість отримують гранулятори з технологією накладення вимушених коливань на струмені рідини, що витікають із перфорованої оболонки, бо це забезпечує отримання монодисперсних гранул правильної сферичної форми. На даному етапі метою є планування експерименту для вивчення впливу конструкційних елементів приллера на розповсюдження вимушених коливань в об'ємі розплаву, що витікає з перфорованої оболонки та кошику приллера для отримання монодисперсного продукту. У відповідності до поставлених завдань проведено літературний та патентний пошуку основних режимно-технологічних та апаратурно-конструктивних характеристик. На основі отриманого аналізу, при плануванні експерименту в якості основного показника вибрано діаметр крапель розплаву (при монодисперсному розпаді). Основними факторами, що впливають на цей показник, є: висота рівня розплаву; частота вимушених коливань; амплітуда коливань; діаметр диску випромінювача; відстань між диском та випромінювачем. Для визначення оптимальних конструктивних параметрів вібраційного гранулятора запропоновано використовувати повний факторний експеримент типу 2^k з чотирма основними факторами, які впливають на якість отриманих гранул. Планування експерименту передбачає оцінку варіативності результатів залежно від поєднань усіх можливих значень обраних факторів, що забезпечить комплексне розуміння впливу кожного фактора та їх взаємодій. Такий підхід до експерименту дозволить отримати багатовимірну картину впливу факторів на кінцеві характеристики гранул та визначити точні налаштування для забезпечення стабільного процесу грануляції. Результати експерименту можуть бути застосовані для розробки рекомендацій щодо налаштування конструктивних параметрів вібраційного гранулятора, а також для покращення математичної моделі, яка прогнозуватиме оптимальні параметри виробничого процесу.

Робота виконана за підтримки МОН України «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (ДР №0121U112684).

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОНТРОЛЮ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СКЛАДНОЗМІШАНИХ ДОБРИВ

Мищенко Д. І., аспірант, гр. А-35/МБ; Пирогов І. С., студент гр. МБ-21, Сумський державний університет, м. Суми

Хімічні взаємодії між компонентами під час виробництва складнозмішаних добрив можуть призводити до утворення нових сполук, які формують малорозчинні комплекси. Такі сполуки стійкі до хімічного розкладення у ґрунті, що значно знижує їхню доступність для кореневих систем рослин і, відповідно, ефективність засвоєння поживних елементів. Це може призводити до дисбалансу в ґрунтовому середовищі, зменшення врожайності та підвищеного вимивання залишкових речовин у підземні води, що спричиняє додатковий екологічний ризик.

Для забезпечення високої ефективності добрив та їхньої екологічної безпеки критично важливо контролювати гранулометричні характеристики, зокрема розмір і пористість гранул. Це дозволяє керувати швидкістю розчинення добрива у ґрунті, забезпечувати рівномірний розподіл поживних речовин та мінімізувати втрати внаслідок поверхневого стоку або випаровування. Оптимізація процесу грануляції досягається шляхом регулювання фізико-хімічних параметрів виробництва, таких як температура й вологість сировини, тиск і швидкість розпилення, а також шляхом використання сучасних технологій формування гранул, зокрема псевдозрідженого шару та вібраційної грануляції.

Дослідження показали, що для добрив, які утворюються з розплавів із низькою в'язкістю, найбільш ефективним методом є грануляція шляхом розпилення. Цей метод дозволяє формувати гранули з високою однорідністю, що забезпечує рівномірне розчинення та контрольоване вивільнення поживних речовин у ґрунт. Для досягнення монодисперсності гранул критично важливим є точне регулювання параметрів процесу, зокрема оптимізація теплопередачі між поверхнею гранули та повітряним потоком, контроль розподілу розплаву через перфоровані отвори гранулятора, а також налаштування гідродинамічних умов, включаючи швидкість витікання розплаву, частоту та амплітуду механічних коливань.

Додатково, застосування методів вібраційної грануляції дозволяє ще більше звужити діапазон розмірів частинок, що підвищує якість кінцевого продукту та зменшує потребу у вторинному подрібненні та сортуванні. Важливу роль також відіграє інкапсуляція гранул органічними оболонками, що дозволяє створити добрива пролонгованої дії, підвищити їхню стійкість до зовнішніх факторів та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Робота виконана за підтримки МОН України «Розроблення технологічних основ отримання складнозмішаних добрив монодисперсного складу» (№ 0125U000500) за керівництва д-ра техн. наук, доц., г.н.с. Остроги Р. О.

ГІДРОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ГРАНУЛ З РОЗПЛАВІВ

Чміленко Б. С., студ. гр. МБ-21, Сумський державний університет, м. Суми

Грануляція з розплавів є одним із ключових технологічних процесів у виробництві добрив, фармацевтичних препаратів, харчових добавок та інших хімічних продуктів. Вона дозволяє отримати гранули з контрольованими фізико-хімічними характеристиками, що забезпечує їх рівномірне розчинення, стабільне зберігання та ефективне застосування. Проте процес грануляції має низку технологічних труднощів, серед яких одним із найкритичніших є стабільність утворення крапель і їх розподіл за розмірами.

Формування гранул у розплавленому стані відбувається внаслідок розпаду струменя рідини на окремі краплі, що є результатом взаємодії капілярних, інерційних і гравітаційних сил. Динаміка цього процесу визначається рядом параметрів, зокрема фізико-хімічними властивостями розплаву (в'язкість, поверхневий натяг, густина), гідродинамічними умовами витікання (швидкість потоку, турбулентність, тиск на вході та виході), а також конструктивними особливостями гранулятора (форма та розмір форсунок, профіль перфорованого днища, наявність напрямних елементів).

Зовнішні чинники, такі як механічні вібрації, змінний тиск або аеродинамічні збурення, можуть істотно впливати на стабільність розпаду струменя, інтенсифікувати процес дисперсії рідини та покращувати контрольованість грануляції. Вібраційні ефекти, зокрема, сприяють утворенню регулярних крапель заданого розміру, забезпечуючи більш рівномірний розподіл частинок у потоці та зменшуючи ймовірність коалесценції крапель. Додатково, зміна частоти і амплітуди механічних коливань може бути використана для регулювання процесу утворення гранул з бажаними характеристиками. Періодичне імпульсне подавання розплаву, в свою чергу, дозволяє зменшити ризик утворення агломератів, мінімізувати полідисперсність продукту та забезпечити високу відтворюваність гранулометричного складу.

Для досягнення стабільного процесу грануляції необхідно враховувати низку параметрів, зокрема швидкість витікання, в'язкість і поверхневий натяг розплаву, а також температурно-динамічні умови процесу. Важливу роль відіграють і зовнішні впливи, такі як механічні вібрації, змінний тиск і напрямок повітряного потоку, що можуть регулювати процес дезінтеграції струменя та сприяти формуванню однорідних крапель. Оптимальний баланс між усіма цими факторами дозволяє отримати монодисперсні гранули з високим рівнем відтворюваності розміру, що є критично важливим для технологічних процесів.

Робота виконана за підтримки МОН України «Розроблення технологічних основ отримання складнозмішаних добрив монодисперсного складу» (ДР № 0125U000500) під керівництвом д-ра техн. наук, доц., г.н.с. Остроги Р. О.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИНЕСЕННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

*Острога Д. В., аспірант гр. А-25/ХТ; Кушніренко Я. В., студент гр. ХМ.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Технологія псевдозрідженого шару є невід'ємною складовою сучасних виробничих процесів у хімічній, нафтопереробній, паливно-енергетичній та суміжних галузях промисловості. Високий рівень інтенсифікації гідродинамічних процесів у псевдозрідженому шарі, а також значна ефективність тепло- та масообміну, зумовлюють його широке застосування для реалізації технологічних операцій, зокрема сушіння, охолодження, термічної обробки та знепилювання гранульованих матеріалів.

Функціонування апаратів із псевдозрідженим шаром базується на інтенсифікації фазової взаємодії, що реалізується шляхом збільшення площі контакту між фазами та підвищенням відносної швидкості газодисперсного потоку. Одним із суттєвих технологічних ускладнень, притаманних псевдозрідженню, є неконтрольоване винесення дрібнодисперсних частинок із робочого об'єму, що може мати негативний вплив на ефективність масо- та теплообмінних процесів, спричиняти втрати цільового продукту та підвищувати навантаження на системи аспірації. Водночас, у випадках газоочисних процесів, регулювання гранулометричних характеристик винесених частинок є важливим параметром, що визначає ефективність їхнього вилучення.

Експериментальні дослідження показали, що при швидкості газового потоку до 2 м/с винесення частинок до 0,5 мм поступово зростає, після чого його інтенсивність зменшується і стабілізується на рівні 3,5 м/с. Для частинок розміром понад 0,5 мм винесення стабілізується при швидкості газового потоку 5 м/с. Встановлено, що у псевдозрідженому шарі процес сепарації дрібних частинок розміром менше 0,5 мм від полідисперсної суміші здійснюється досить ефективно. Оптимальний діапазон швидкості газового потоку для забезпечення ефективного очищення становить 1,5–2,5 м/с.

Аналіз розрахункових і експериментальних даних дозволив оцінити точність різних аналітичних залежностей для визначення величини винесення частинок із псевдозрідженого шару. У результаті було виділено рівняння, що є найбільш прийнятним з практичної точки зору для прогнозування цього процесу. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення режимних параметрів роботи псевдозріджених апаратів, зниження втрат матеріалу та мінімізації негативного впливу технологічного процесу на навколишнє середовище.

Робота виконана за підтримки МОН України «Розроблення технологічних основ отримання складнозмішаних добрив монодисперсного складу» (ДР № 0125U000500) під керівництвом д-ра техн. наук, доц., г.н.с. Остроги Р. О.

СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДІВ МЕТАЛІВ МЕТОДАМИ ПРОСВІЧУВАНОЇ, СКАНУЮЧОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ТА АТОМНО-СИЛОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

*Чудеса К. В., студентка групи І-22/пх; Пишеничний Р. М., канд. хім. наук,
доцент кафедри теоретичної та прикладної хімії, Сумський державний
університет, м. Суми*

Сучасні нанотехнології є ключовим напрямом розвитку науки, що має вагомий вплив на промисловість, медицину, електроніку, екологію та енергетику. Особливу увагу дослідників привертають наночастинки оксидів металів завдяки їхнім унікальним фізико-хімічним властивостям, таким як висока каталітична активність, оптична та електропровідна стабільність, магнітні та біоцидні характеристики. Завдяки цим властивостям наночастинки знаходять застосування у створенні сенсорних систем, захисних покриттів, високоефективних сорбентів, біомедичних препаратів та сучасних каталізаторів.

Оцінка структурних і морфологічних особливостей наночастинок є важливим етапом досліджень, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на їхню функціональність. Високоточні методи мікроскопії, зокрема просвічувальна електронна мікроскопія (ПЕМ), сканувальна електронна мікроскопія (СЕМ) та атомно-силова мікроскопія (АСМ), дозволяють отримати детальну інформацію про форму, розмір, поверхневу структуру та міжфазні взаємодії наночастинок. Комплексне використання цих методів забезпечує багаторівневий аналіз наноматеріалів та сприяє їх подальшому вдосконаленню для практичного застосування.

Просвічувальна електронна мікроскопія (Transmission Electron Microscopy, TEM) — це високоточний метод дослідження наночастинок оксидів металів, що забезпечує аналіз їхньої структури, морфології та хімічного складу на атомному рівні. Цей метод базується на взаємодії пучка високоенергетичних електронів із тонким зразком, що дозволяє отримати детальне зображення внутрішньої структури матеріалу. Оскільки довжина хвилі електронів значно менша за довжину хвилі видимого світла, TEM забезпечує роздільну здатність у межах нанометрів або навіть окремих атомів. Сучасні методи ПЕМ дозволяють отримувати зображення з атомарною точністю, що важливо для дослідження наночастинок оксидів металів. Зокрема, електронна томографія дає змогу відтворювати тривимірну структуру зразків, що необхідно для вивчення їхньої морфології та просторового розподілу хімічних елементів. Крім того, спектроскопія енерговтрат електронів (EELS) і енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія (EDS) дають можливість аналізувати електронну структуру та локальний хімічний склад наночастинок.

Скануюча трансмісійна електронна мікроскопія (STEM) є потужним методом для дослідження нанорозмірних матеріалів, що поєднує принципи скануючої та просвічувальної електронної мікроскопії. У STEM сфокусований пучок електронів сканує тонкий зразок, а детектори реєструють електрони, розсіяні під різними кутами, що дозволяє отримувати зображення з високою роздільною здатністю та проводити спектроскопічний аналіз. Основні сигнали, які отримують у STEM, включають зображення в яскравому полі (BF), кільцевому темному полі (ADF) та темному полі з великим кутом розсіювання (HAADF). Особливо HAADF-STEM забезпечує контраст, чутливий до атомного номера елементів, що дозволяє безпосередньо візуалізувати важкі атоми в структурі матеріалу.

Атомно-силова мікроскопія (АСМ) є високоточним методом скануючої зондової мікроскопії, який дозволяє досліджувати поверхні матеріалів на атомному рівні. Цей метод використовує консоль з гострим зондом, який сканує поверхню зразка, реагуючи на сили взаємодії між атомами зонда та поверхні. Це дозволяє отримувати тривимірні зображення поверхні з високою роздільною здатністю, що є надзвичайно корисним для аналізу морфології та фізичних властивостей матеріалів. АСМ працює в декількох режимах, включаючи контактний, безконтактний та режим з перемінною силою. У безконтактному режимі зонд не контактує безпосередньо з поверхнею зразка, що дозволяє уникнути пошкодження як зразка, так і зонда, що є особливо важливим при дослідженні біологічних об'єктів. Цей метод широко використовується для дослідження топографії поверхні, механічних властивостей, таких як жорсткість та адгезія, а також для вивчення електричних і магнітних властивостей матеріалів на нанорівні.

Список літератури:

1. Williams, D. B., Carter, C. B. (2009). *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science* (2nd ed.).
2. Wan, W., Su, J., Zou, X. D., Willhammar, T. (2018). Transmission electron microscopy as an important tool for characterization of zeolite structures. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 5(11), 2836-2855.
3. Guzzinati, G., Altantzis, T., Batuk, M., et al. (2018). Recent advances in transmission electron microscopy for materials science at the EMAT lab of the University of Antwerp. *Materials*, 11(8), 1304.
4. Nanoscience Instruments. (n.d.). Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM). <https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-transmission-electron-microscopy/>
5. Івах М. Р., Головчак Р. М. (2013). Методи дослідження поверхні зразка за допомогою атомно-силового мікроскопу на основі кантелівера механічного типу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(16), С. 144–148.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ, ЩО ЗАЗНАВ ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ

*Крупська А. М., студентка гр. І-11/2пх; Большаніна С. Б., канд. техн. наук,
доц. каф. ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми*

Через військові дії та щоденні обстріли стан довкілля в Україні останнім часом значно погіршився. Збройний конфлікт завдає шкоди не лише людям та інфраструктурі, а й природним екосистемам. Часто люди зосереджуються на руйнуванні житла чи об'єктах життєзабезпечення від падіння ударного безпілотної чи ракети, але не менш важливо усвідомлювати, що снаряди, які падають на поля чи луки, отруюють річки та знищують ліси, також завдають величезної шкоди довкіллю. У Сумській області активні обстріли прикордонних територій призводять до погіршення стану ґрунтів. Вибухи руйнують їхню структуру та змінюють фізико-хімічні характеристики. Отже, виникає потреба у детальному дослідженні ємності катіонного обміну ґрунтів, який зазнав впливу бойових дій.

Одним з невід'ємних та основних показників ґрунту є ємність катіонного обміну (ЄКО), яка описує здатність ґрунту утримувати та обмінюватися катіонами поживних елементів. Також впливає на стійкість структури ґрунтового покриву до його деформації, регулює кислотно-лужний баланс та ефективність дії добрив та мінералів на ґрунт [2-3]. Отже, зниження норми показників ЄКО суттєво може змінити фізико-хімічні характеристики ґрунта.

Метою даної роботи буде дослідження впливу військових дій на ґрунтові властивості. Особливу увагу потрібно приділити визначенню ємності катіонного обміну, а також дослідити механізм змін отриманих результатів, порівнюючи зразки ґрунту з-під воронки та з непошкодженої ділянки поля.

Сучасний підхід до оцінювання якості ґрунту включає в собі метод Бобко-Аскіназі-Альошина, який пов'язаний із заміщенням обмінних катіонів, а також фотоколориметричний метод, який полягає у визначенні концентрації компонента шляхом вимірювання інтенсивності світлового потоку, що пройшов крізь розчин. Отримані результати дослідження допоможуть дізнатися та оцінити показники якості ґрунту, а в майбутньому стануть основою для внесення необхідних добрив з метою покращення родючості [1].

Список літератури

1. Крупська А. М., Большаніна С. Б.. Дослідження катіонної ємності ґрунтів у воронках від снарядів // Перспективи хімії в сучасному світі: зб. матеріалів доп. IV Всеукр. конф. (м. Житомир, 20.11.2024 р.), С. 153-154.

2. Cations and Cation Exchange Capacity.
<https://www.soilquality.org.au/factsheets/cation-exchange-capacity>.

3. Cation Exchange Capacity. <https://www.ontario.ca/page/cation-exchange-capacity>.

ДИСТИЛЯЦІЙНІ МЕТОДИ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ АЗОТНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Запорожець Р. О., студент групи І-32/2пх; Пономарьова Л. М., канд. хім. наук, доц., зав. каф. ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми

На сьогодні, азотні мінеральні добрива поділяються на шість груп за формою нітрогену в них: аміачні, амонійні, нітратні, амонійно-нітратні, амідні та аміаки[1].

В рамках цієї роботи розглянуто два дистиляційні методи кількісного аналізу для аміачних та нітратних добрив. Перед проведенням будь-якого аналізу, досліджуваний зразок добрива повинен пройти певні стадії підготовки (пробовідбір, висушування подрібнення) з метою отримання представницької проби щодо всієї досліджуваної речовини. Забруднення проби іншою речовиною або втрата маси проби вважається за промах.

Дистиляційний метод підходить для аналізу добрив, що містять солі амонію (якщо в них не присутній ціанамід кальцію).

До проби додається вода та оксид магнію або гідроксид натрію задля підвищення лужності середовища та розчинення проби, що потім переноситься до дистиляційного апарату. У приймальну колбу для аміаку наливається сульфатна кислота з декількома краплями розчину метилового червоного та метиленового синього. Зібраний у результаті дистиляції аміак підлягає титруванню 0.1-0.2 М розчином гідроксиду натрію. Під кінець нейтралізації розчин буде мати сіро-зелений колір. За надлишком сульфатної кислоти буде відома кількість амоніаку, що міститься в пробі.

Трохи змінений метод дистиляції з використанням від сплаву Декарда (50% Cu, 45% Zn, 5% Al) може бути використаний для дослідження добрив з нітрат-іонами, що не мають домішок сечовини, ціанаміду кальцію та органічних речовин, що могли б поглинаються нагріванням та аміаком.

До аналітичної проби додається вода для розчинення отриманого під час реакції амоніаку. Далі, додається сплав Декарда та гідроксид натрію та проводиться дистиляція. В приймальну колбу з певною кількістю сульфатної кислоти концентрації 0,25 М та сумішню індикаторів метилового червоного та метиленового синього збирається аміак. Утворюваний розчин підлягає титруванню 0,1-0,2 М гідроксиду натрію. Розрахувавши надлишок сульфатної кислоти та віднявши його від початкової кількості сульфатної кислоти буде отримано значення кількості нітрогену в добриві[2].

Список літератури

1. Г. М. Господаренко (2013). Агрохімія. Підручник. ISBN 978-966-669-317-7
2. M. Aizaki, T. Imagawa, A. Kawasaki, S. Naito, M. Nakamura, A. Noguchi, K. Yazima, A. Yasui (2016). Testing methods for Fertilizers.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПИВА ВІДПОВІДНО ДО ДСТУ

Мироненко Д. В., студентка групи І-32/2пх; Пономарьова Л. М., канд. хім. наук, доц., зав. каф. ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми

Пиво – один із найдавніших напоїв, відомих людству. Його історія налічує тисячі років, а популярність залишається незмінно високою в усьому світі. Різноманітність сортів пива велика, від світлих лагерів до темних стаутів, які відрізняються своїми смаками і властивостями, сформованими під час технологічного процесу – пивоваріння.

Вплив інгредієнтів на якість пива: солод визначає колір, аромат та смак пива; хміль надає пиву гіркоту, аромат та сприяє утворенню піни; дріжджі: відповідають за бродіння та формування смако-ароматичного профілю пива. Вода впливає на смак та якість пива.

Пиво – це складний напій, що містить воду, хміль, солод, дріжджі та інші компоненти, які впливають на його смак і фізико-хімічні властивості. Для контролю якості пива використовуються різноманітні аналітичні методи, які дозволяють оцінити сенсорні характеристики (смак, колір, аромат, піна) і фізико-хімічні показники (кислотність, вміст спирту, концентрацію вуглекислого газу та ін.). Дотримання стандартів ДСТУ гарантує, що пиво відповідає високим вимогам щодо якості та безпеки.

Розглянемо основні методи аналізу пива, їх значення та відповідність чинним нормативним документам, зокрема ДСТУ 3888:2015 та ДСТУ 7103:2020, за якими для аналізу використовуються різні аналітичні методи, такі як спектрофотометрія, хроматографія, титрування та інші.

Методи аналізу пива:

1. Органолептичний аналіз дозволяє оцінити основні споживчі характеристики пива:

1.1. Колір. Колір пива варіюється від світло-солом'яного до темно-коричневого або чорного. Залежить від типу солоду, що використовується, та процесу його обсмажування. Стандарти ДСТУ встановлюють вимоги до кольору залежно від типу пива (світле, напівтемне, темне).

- Метод візуального порівняння: порівняння кольору пива з кольором розчину йоду різної концентрації в 100 см³ води.
- Метод порівняння зі стандартними розчинами: візуальне порівняння кольору пива з кольором стандартних розчинів.
- Колориметричний метод: вимірювання оптичної густини шару пива певної товщини, обчислення показника поглинання, що характеризує колір пива. [1]

1.2. Аромат і смак (оцінюються шляхом дегустації);

1.3. Піноутворення (вимірювання висоти піни та часу її осідання). Піна повинна бути густою, стійкою та мати дрібну структуру. Стандарти

ДСТУ встановлюють вимоги до висоти та стійкості піни залежно від масової частки сухих речовин у початковому суслі. [2].

2. Фізико-хімічні методи аналізу:

2.1. Визначення кислотності титриметричним методом (нейтралізація всіх кислот і кислих солей, що знаходяться в пиві, розчином NaOH у присутності спиртового розчину фенолфталеїну). Методика регламентується ДСТУ 4852:2007 [3].

2.2. Вміст алкоголю в пиві варіюється залежно від типу пива. □ Стандарти ДСТУ вимагають, щоб вміст алкоголю відповідав заявленому на етикетці. Методи визначення вмісту спирту:

- Дистиляція: Метод базований на дистилюванні спирту з наважки пива, та визначенні відносної густини розчину дистиляту.
- Рефрактометричний метод: визначення показника заломлювання пива за допомогою рефрактометра і відносної густини з подальшим розрахунком масових часток спирту. [4]

2.3. Вуглекислий газ забезпечує піноутворення та освіжаючий смак пива. Його вміст також впливає на сприйняття аромату та смаку. Визначення концентрації CO_2 у пиві, фасованому в скляні пляшки, пляшки полімерні марки ПЕТФ та металеві банки манометричним методом: вимірювання тиску в газовому просторі над пивом і розрахунок масової частки CO_2 залежно від виміряного тиску і температури [5].

Висновок:

Під час контролю якості застосування методів аналізу, затверджених ДСТУ 3888:2015 та ДСТУ 7103:2020, дає змогу оцінити відповідність аналізованих параметрів встановленим стандартам, що гарантує безпечність продукції для споживачів. Застосування сучасних методів аналізу підвищують ефективність аналізу.

Список літератури:

1. ДСТУ 4851:2007 Пиво. Методи визначення кольору, 2007;
2. ДСТУ 7103:2020 Пиво. Методи визначання органолептичних показників та об'єму продукції, 2020;
3. ДСТУ 4852:2007 Пиво. Методи визначення кислотності, 2007;
4. ДСТУ 7104:2009 Пиво. Методи визначання спирту, дійсного екстракту та розрахування сухих речовин у початковому суслі, 2009;
5. ДСТУ 4850:2007 Пиво. Методи визначення діоксиду вуглецю та стійкості, 2007. с. 5;
6. ДСТУ 3888:2015 Пиво. Загальні технічні умови, 2015.
7. Хімічний склад і якість пива, склад пива [Режим доступу: <https://aqua-life.ua/info/khimichniy-sklad-i-yakist-piva-koloyidniy-sklad-piva/>]

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЛІКАРСЬКИХ ФОРМ З ГЛЮКОЗОЮ

Вініченко А. І., студ. гр. ПХ.м-41; Пономарьова Л. М., завідувач кафедри теоретичної та прикладної хімії, Сумський державний університет, м. Суми

Аналіз якості лікарських препаратів є однією з найважливіших частин виробництва лікарських форм. Метою даного контролю є переконання в тому, що вироблені товари відповідають встановленим стандартам якості. Проведення контролю якості забезпечує, що продукція відповідає заданим параметрам, які визначаються задля забезпечення безпеки, ефективності, надійності та інших важливих аспектів лікарської форми для споживачів продуктів.

Глюкоза, як діюча речовина використовується у багатьох лікарських препаратів, починаючи від вітамінів і засобів для ін'єкції, закінчуючи ліками від алкогольної залежності і засобів для нормалізування роботи травлення та метаболізму.

Аналіз лікарських форм з глюкозою містить кілька основних аспектів:

1. Ідентифікація глюкози з використанням хімічних та фізико-хімічних методів аналізу. З хімічних методів це реакція з реактивом Троммера, з реактивом Фелінга і реакція з реактивом Толелленса, з фізико-хімічних методів – ІЧ-спектроскопія, УФ-спектроскопія і тонкошарова хроматографія.

2. Кількісне визначення глюкози в лікарській формі проводиться за допомогою хімічних і фізико-хімічних методів аналізу. Використовуються такі методи, як титриметричні методи, спектрофотометрія та хроматографія, щоб точно визначити вміст глюкози в препараті.

3. Фармакотехнологічні показники для твердих лікарських форм глюкози: час розпаду, твердість, стираниність і розчинність.

Аналіз лікарських форм з глюкозою є багатограничним процесом, що включає в себе велику кількість процесів від ідентифікації і кількісного визначення глюкози в препараті до визначення його фармакотехнологічних показників. Визначення даних факторів дозволяє забезпечити високі стандарти якості, що є ключовим фактором для успішного лікування та покращення здоров'я пацієнтів.

Список літератури

1. Державна фармакопея України. Харків : Держ. підприємство: "Науково-експерт. фармакопе. центр", 2004. 520 с.
2. Державна фармакопея України. 2-ге вид. Харків : Держ. підприємство: "Науково-експерт. фармакопе. центр", 2015. Т. 1. 594 с.
3. Gold P. E., Vogt J., Hall J. L. Glucose effects on memory: behavioral and pharmacological characteristics. Behavioral and neural biology. 1986. Vol. 46, no. 2. P. 145–155. URL: [https://doi.org/10.1016/s0163-1047\(86\)90626-6](https://doi.org/10.1016/s0163-1047(86)90626-6)

РОЗРОБЛЕННЯ БІОСОРБЕНТУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

*Пятишкіна П. Д., студентка гр. І-22/Іпх; Большаніна С. Б., доц. каф. ТПХ,
Сумський державний університет, м. Суми*

На сьогоднішній день покращення методів очищення води залишається актуальним. Забруднення водойм становить серйозну загрозу як для екосистем, так і для здоров'я людини. Основними забруднювачами є важкі метали, органічні сполуки та надлишковий азот (амонійна форма та нітратна). У даній роботі акцентовано увагу на забрудненні азотом.

Надмірний вміст азоту в поверхневих та підземних водах виникає переважно через викиди від сільського господарства та відходи тваринного гною. Через забруднення азотом у водоймах цвітуть водорості та гине риба, вода має неприємний запах та колір. Високі концентрації нітратів є небезпечними для тварин та людей, особливо вразливих груп населення. Вони можуть призвести до підвищеного ризику колоректального раку, захворювань щитовидної залози та дефектів нервової трубки, а також дитячої метгемоглобінемії (синдрому синього малюка). Забруднення водних об'єктів створює ризики для здоров'я людини як при вживанні питної води з різних джерел, так і при контакті з забрудненою водою під час відпочинку [1, 2].

До існуючих технологій очищення води, що набули широкого вжитку, належать: зворотний осмос, хлорування до точки перелому, біологічні процеси, іонообмінники та аерофільтрація. Найбільш поширені технології для зниження вмісту сполук азоту у воді — це методи, що використовують біологічні процеси, зворотний осмос та хлорування до точки перегину. Їхня ефективність складає 80-90%, 60-90% та 80-95% відповідно [3].

Біосорбція — це фізико-хімічний процес, при якому певна біомаса природно концентрує та утримує забруднювачі на своїй клітинній структурі. Біосорбція є простим та чутливим методом видалення токсичних речовин із забрудненої води. Вона демонструє значний потенціал завдяки своїй ефективності, екологічності та економічності [4]. Здатність біосорбентів до біосорбції залежить від природи функціональних груп через їхній вплив на поверхневий заряд.

Серед біосорбентів особливо перспективними є мікроводорості. Однією з їхніх найважливіших переваг є здатність до біологічного розкладу. Живі мікроводорості мають активний метаболізм, а нежива біомаса легша в обробці, не потребує поживних речовин і зберігається довше, при цьому її ефективність можна підвищити через хімічну чи фізичну обробку. Також відомо, що ефективність мікроводоростей підвищує їхня іммобілізація [5].

Для очищення води в даній роботі пропонується розробка біоадсорбенту на основі каоліну та хлорели (*Chlorella* spp.).

Хлорела — це рід одноклітинних зелених водоростей, які містять велику кількість хлорофілу й активно використовуються в біотехнологіях,

медицині та харчовій промисловості. Вони є нерухомими, що сприяє високій ефективності біосорбції. Куляста форма клітин додатково покращує здатність хлорели до поглинання забруднювачів, що робить її активним учасником процесів біологічного очищення.

Носієм для біомаси слугує глинистий мінерал каолін. Завдяки своїй пористій структурі він має високу питому поверхню для адсорбції забруднень. Для фіксації хлорели на каоліні та з метою формування гранул або порошку використовується додатковий біополімерний зв'язувальний агент — альгінат натрію, хітозан.

Оптимальне співвідношення компонентів біосорбенту:

- каолін – 60-70%
- хлорела (*Chlorella* spp.) – 20-30%
- біополімерний зв'язувальний агент – 5-10%.

Такий біоадсорбент поєднує фізичну адсорбцію каоліну та біосорбцію/біодеградацію хлорели, що значно підвищує ефективність очищення води від важких металів, органічних сполук, нітратів та фосфатів. Це дозволяє знизити рівень токсичних забруднювачів у воді, забезпечуючи її більш безпечне використання для людини й підтримки екологічного балансу водних систем.

Для оцінки ефективності біосорбенту на основі каоліну та хлорели (*Chlorella* spp.) в очищенні води від забруднень будуть проведені подальші дослідження. Зміна вмісту надлишкового азоту у воді визначатиметься із застосуванням фізико-хімічних методів аналізу.

Список літератури

1. Ramakrishnan VV G. A. Nitrogen Sources and Cycling in the Ecosystem and its Role in Air, Water and Soil Pollution: A Critical Review. *Journal of Pollution Effects & Control*. 2015. Vol. 03, № 02. URL: <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000136>
2. Groundwater and surface water nitrate pollution in an intensively irrigated system: Sources, dynamics and adaptation to climate change / M. Rotiroti et al. *Journal of Hydrology*. 2023. Vol. 623. P. 129868. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129868>
3. Radu G., Racoviteanu G. Removing ammonium from water intended for human consumption. A review of existing technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 664, no. 1. P. 012029. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012029>
4. Removal of ammonia and nitrates from contaminated water by using solid waste bio-adsorbents. S. Dey et al. *Current Research in Chemical Biology*. 2021. Vol. 1. P. 100005. URL: <https://doi.org/10.1016/j.crchbi.2021.100005>
5. A comprehensive review on microalgae-driven heavy metals removal from industrial wastewater using living and nonliving microalgae / M. O. Faruque та ін. *Journal of hazardous materials advances*. 2024. C. 100492. URL: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100492>

ЕЛЕКТРОСПІНІНГ ДВОКОМПОНЕНТНИХ МЕМБРАН ІЗ ПОЛІМОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ ТА ХІТОЗАНУ

*Радченко О. І., студентка гр. ПХ.м-41; Пономарьова Л. М., канд. хім. наук,
доцент, зав. каф. ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми*

Електроспінінг є одним із найефективніших методів отримання наноматеріалів з волокнистою структурою. Він дозволяє формувати нанорозмірні волокна з різних полімерів шляхом витягування розчину або розплаву під дією електричного поля. Цей метод широко використовується у тканинній інженерії, виготовленні біосумісних каркасів та мембран для розділення рідин. Зокрема, у створенні біоматеріалів з покращеними фізико-хімічними та біологічними властивостями все більшої популярності набувають двокомпонентні системи на основі природних та синтетичних полімерів [1].

Комбінація хітозану та PLA дозволяє поєднати біосумісність, біодеградабельність та антибактеріальні властивості хітозану з високими механічними характеристиками та технологічною зручністю PLA. Такі матеріали є перспективними для застосування у тканинній інженерії, виготовленні біорозкладаних імплантатів та мембранних систем очищення.

Хітозан (CS) — природний біополімер з унікальними властивостями, такими як біодеградабельність, біосумісність, антибактеріальна активність та низька імуногенність. Він здатний до зволоження та є гігроскопічним, що робить його корисним у фармацевтичних і медичних застосуваннях. Основним джерелом хітозану є хітин, що видобувається з панцирів ракоподібних або грибів. Проте процес електроспінінгу хітозану ускладнений через його високу молекулярну масу та обмежену розчинність у більшості органічних розчинників [2].

Полімолочна кислота (PLA) — синтетичний полімер, що відзначається високою механічною міцністю та здатністю до формування волокон. PLA широко використовується в медицині та фармацевтиці завдяки своїй біосумісності та біодеградабельності [3].

Електроспінінг є ефективним методом отримання двокомпонентних мембран на основі хітозану та PLA. Змішування хітозану з PLA дозволяє отримати мембрани з покращеною біосумісністю, зниженою токсичністю та достатньою механічною міцністю. Завдяки комбінації природного та синтетичного полімерів досягається синергетичний ефект, що підвищує адгезію клітин та зменшує ймовірність утворення інфекцій [4].

Реалізувати процес електроспінінгу двох полімерів одночасно можна за допомогою декількох різних типів електроспінінгу. Вони в основному включають послідовний, одночасний, коаксальний та side-by-side електроспінінг. Перші два методи дозволяють осаджувати нановолокна з різних матеріалів у макроскопічно неоднорідні структури. Тоді як останні два

здатні контролювати внутрішню структуру нановолокон за допомогою визначеного просторового розташування окремих матеріалів, що забезпечує отримання певних функціональних властивостей.

- Послідовний електроспінінг — це метод, при якому різні матеріали електроспінюються по черзі через одну голку, утворюючи багат шарові волокнисті структури з можливістю контролю товщини та орієнтації кожного шару.
- Одночасний електроспінінг — передбачає електроспінінг декількох матеріалів одночасно через різні голки на одному колекторі, створюючи змішані або багатокомпонентні волокнисті конструкції з інтегрованими властивостями.
- Коаксіальний електроспінінг — використовується для отримання волокон ядро-оболонка шляхом електроспінінгу двох або більше рідин через концентрично вкладені голки, що забезпечує формування однорозмірних наноструктур з ядром та оболонкою.
- Пліч-о-пліч (side-by-side) електроспінінг — дозволяє створювати волокна з двома або більше паралельними компонентами, що формують двофазні або багатофазні структури з різними функціональними властивостями [5].

Отже, поєднання полімолочної кислоти та хітозану у двокомпонентних мембранах дозволяє створювати біосумісні матеріали з покращеними фізико-хімічними властивостями. Метод електроспінінгу забезпечує отримання нанорозмірних волокон з високою стабільністю структури та контролем пористості. Такі матеріали можуть ефективно використовуватися у тканинній інженерії, медичних застосуваннях та екологічно чистих мембранних технологіях.

Список літератури

1. Lee, J., & Chen, Y. (2018). Polymer-based composites by electrospinning: Preparation and functionalization with nanocarbons. *Progress in Polymer Science*, 86, 40-84.
2. Vedula, S. S., & Yadav, G. D. (2021). Chitosan-based membranes preparation and applications: Challenges and opportunities. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(2), 100017.
3. Vatanpour, V., & Dehqan, A. (2022). Polylactic acid in the fabrication of separation membranes: A review. *Separation and Purification Technology*, 296, 121433.
4. Hardiansyah, A., Tanadi, C., & Gunawan, Y. I. (2015). Electrospinning and antibacterial activity of chitosan-blended poly(lactic acid) nanofibers. *Journal of Polymer Research*, 22(11), 1-8.
5. Zhou, F., Zhang, L., Sun, Z., & Zhang, W. (2023). Multi-material electrospinning: From methods to biomedical applications. *Materials Today Bio*, 20, 100710.

ВПЛИВ СИКАТИВІВ НА СУШІННЯ І ТВЕРДІСТЬ АЛКІДНИХ ЕМАЛЕЙ

Ольховик А. В., студентка гр.І-11/2пх; Диченко Т. В. старший викладач кафедри ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми

Сикативи – це спеціальні хімічні речовини, що прискорюють висихання фарб, лаків та інших покриттів. Вони діють як каталізатори, сприяючи швидшому затвердінню покриття та утворенню плівки завдяки процесам окиснення й полімеризації. Найчастіше сикативи додають до масляних фарб, щоб скоротити час висихання та покращити характеристики покриття. До таких речовин належать розчинні в оліях солі важких металів, зокрема сполуки кобальту чи марганцю, а також одноосновні кислоти.

Мета нашої роботи - дослідити вплив двох типів сикативів на сушіння алкідної емалі та вплив на її твердість. Для експерименту ми взяли алкідну емаль ПФ-266 торгової марки «Farbex» і два сикативи: 03011 та 06001. Перший сикатив 8%, у складі якого кобальт, кальцій, марганець, а другий сикатив – 15% (9 % марганцю та 6% кобальту).

Приготовлені нами розчини емалі з різними концентраціями сикативів 03011 і 06001, нанесли на скляні пластини та залишили висихати за температури 23⁰C та вологості 50%. Провели виміри часу висихання зразків, дані результати зазначені в статті “Вплив сикативів на сушіння алкідних емалей” [1]. Дослідження проводилося 48 годин.

Твердість емалі виміряли за допомогою маятникового прибору Кеніга. Отримані данні занесено в таблицю (табл. 1).

Таблиця 1 - Твердість зразків в залежності від вмісту сикативу

Концентрація, г	0,1	0,4	1	2	5
Твердість емалі із сикативом 03011, умовні одиниці	0,05	0,14	0,16	0,2	-
Твердість емалі з сикативом 06011, умовні одиниці	0,06	0,15	0,18	0,24	-

Отримані нами результати свідчать, що емаль зі сикативом 06001 має кращу твердість, ніж із сикативом 03011. Тому ми можемо зазначити що на час висихання емалі і на її твердість впливає склад і кількість сикативу.

Список використаних джерел:

1. Ольховик А.В., Диченко Т.В., *Вплив сикативів на сушіння алкідних емалей* /IV Всеукраїнська інтернет-конференція молодих вчених «Перспективи хімії в сучасному світі», 20.11.2024 р. – м. Житомир. – С. 70.
2. Нестеренко С. В. Хімічні технології одержання лакофарбових покриттів : конспект лекцій для студентів 1 курсу денної та заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / С. В. Нестеренко; Харків. Нац. Ун-т міськ. Госп-ва ім. О. М. Бекетова. – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 84 с.

ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ЇХ АНАЛІЗУ

Бутьченко Р. М., студент групи І-32/2пх; Пономарьова Л. М., канд. хім. наук, доц., зав. каф. ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми

Паливно-мастильні матеріали займають важливе місце в забезпеченні енергетичних потреб сучасного світу. Для забезпечення ефективного та екологічно безпечного використання палива необхідно проводити його аналіз.

У цій роботі ми розглянемо різні методи аналізу паливно-мастильних матеріалів.

1. Метод визначення вмісту води. ГОСТ 2477-65. Цей стандарт встановлює метод визначення води в нафті, рідких нафтопродуктах, пластичних мастилах, парафінах, церезинах, восках, гудронах та бітумах. Пробу нафтопродукту нагрівають з нерозчинним у воді розчинником та вимірювання об'єму сконденсованої води. Стандарт не поширюється на бітумні емульсії [1].

2. Число нейтралізації. Метод потенціометричного титрування. ГОСТ 11362-96. Цей стандарт застосовується для вимірювання загального кислотного та лужного числа у нафтопродуктах та паливних матеріалах. Метод потенціометричного титрування, описаний у стандарті, дозволяє оцінити відносні зміни олів у процесі окислення [2].

3. Нафта. Метод визначення парафіну. ГОСТ 11851-2018. Цей стандарт включає два методи визначення парафінів:

а) Метод осадження охолодженням. Сутність методу полягає у попередньому видаленні асфальтово-смолистих речовин з нафти, їх екстракції та адсорбції та подальшому видаленні ацетону та толуолу при температурі - 20°C.

б) Метод хронографії. Суть цього методу - асфальтово-смолисті речовини попередньо видаляють з нафти вакуумною перегонкою з відбором фракцій за температури від 250°C до 550°C [3].

4. Нафтопродукти. Бензини автомобільні та паливні авіаційні. Метод визначення смол випарюванням струменем. ДСТУ ГОСТ 1567:2006. Вміст смол у паливах визначається шляхом випарювання палива за допомогою потоку повітря. Під час цього процесу смоли осідають на фільтрі або іншому вловлюючому пристрої. Після цього зважують кількість смол, що залишаються на фільтрі, та визначають їх масу.

Дослідження паливних матеріалів та їх властивостей сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин і підвищенню ефективності використання ресурсів.

Список літератури

1. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=27126
2. https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=27130
3. <https://vsegost.com/Catalog/69/69700.shtml>

ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ДЕСОРБЦІЇ ІОНІВ З ПОВЕРХНІ НАНОНАСИЧЕНОГО БІОМАТЕРІАЛУ

*Радченко А. Е., студ. ПХ.м-41; Большанина С. Б., канд. техн. наук, доцент
кафедри ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми*

Гідроксиапатит (ГА) є синтетичним біоматеріалом, що має хімічну подібність до мінеральної складової кісткової тканини, що забезпечує його високу біосумісність та остеокондуктивні властивості. Завдяки цьому він широко використовується в медицині для виготовлення імплантів та кісткових заміників.

Методи синтезу ГА поділяються на сухі, мокрі та високотемпературні. Мокрий метод, зокрема хімічне осадження, дозволяє отримати високоочищений матеріал з контрольованою морфологією. Гідротермальний метод забезпечує високу кристалічність, а механохімічний дозволяє отримати нанорозмірні частинки з покращеними механічними властивостями.

Для використання в медичних імплантах ГА модифікують наночастинками металів, що покращує його біоактивність, антимікробні властивості та контрольоване вивільнення іонів, що є перспективним напрямом для створення медичних матеріалів нового покоління. Гідроксиапатит також має здатність сорбувати іони металів, що робить його придатним для функціональної модифікації з метою покращення його біологічних властивостей. Додавання наночастинок срібла, міді або оксиду цинку не лише підвищує антимікробну активність матеріалу, а й сприяє регенерації кісткової тканини завдяки контрольованому вивільненню іонів металів. Це відкриває перспективи для створення біоактивних імплантів, здатних знижувати ризик післяопераційних інфекцій та покращувати остеоінтеграцію [1].

Для дослідження кінетики вивільнення наночастинок оксиду цинку використовували зразки, що містили наночастинки NPsZnO /ГА: 1000 мкг/г. Дослідження вивільнення наночастинок /іонів з композитного матеріалу ГА-NPs проводили в статичному режимі, коли зразки композиту контактують з імерсійним середовищем при постійній температурі певний час.

В таблиці 1 представлені данні щодо кінетики вивільнення іонів, що утворюють зразки гідроксиапатиту з наночастинками ZnO при контакті з імерсійним середовищем - розчином SBF. Спостерігається незначна кількість іонів, що переходять в розчин. У відсотках для зразків з ГА- NPsZnO десорбція складає не більше 0,5%,. При цьому кількість іонів з часом практично не змінюється і коливається в тих же межах, що і в першу добу контакту $\pm 0,02$ -

0,04 мкг/мл. Все це свідчить про утворення нерозчинних фаз за участі NPsZnO як на поверхні ГА, так із компонентами імерсійного середовища. Зв'язування наночастинок із компонентами системи в нерозчинні фази гальмує процес десорбції іонів. наночастинок оксиду цинку за рахунок утворення слабкорозчинних сполук (гідроксидів, фосфатів, карбонатів) демонструє низьку десорбцію і дифузію, що сприяє їх більшому закріпленню в композитному матеріалі. Ці властивості можуть бути використані для створення матеріалів із контрольованими характеристиками вивільнення, наприклад, у біомедичних застосуваннях, де потрібне тривале вивільнення цинку.

Таблиця 1. Результати вивільнення іонів з композитного матеріалу ГА-NPsZnO що містив наночастинок в кількісному співвідношенні 1000 мкг/г

Зразок ГА-NPs	Вміст NPs в композиті, мкг/г	Час контакту з SBF, діб	Вміст у фільтраті, мкг/мл
ГА- NPsZnO			
1b	1000	1	0,046
2b		3	0,051
3b		7	0,041
4b		14	0,048
5b		30	0,044

Список літератури

1. Holubnycha V., Pshenychnyi R., Bolshanina, S., et al. The Antimicrobial Effectiveness of the Hydroxyapatite Matrix Loaded with Metal Nanoparticles // 14th International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties”. Riga, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/NAP62956.2024.10739717>

МЕБРАННИЙ ЕЛЕКТРОЛІЗ РОЗЧИНІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ІОНАМИ КАДМІЮ

*Шокаленко О. В., студент групи І-11; Большанина С. Б., канд. техн. наук,
доцент кафедри ТПХ, Сумський державний університет, м. Суми*

Зелений Курс – це глобальний план, який включає стратегії розвитку сталої, чистої, безпечної та здорової Європи. Він складається з плану дій, спрямованих на те, щоб зробити економіку ЄС стійкою, перетворивши кліматичні та екологічні виклики на можливості в усіх сферах у справедливий та інклюзивний спосіб. ЄЗК охоплює всі сектори економіки, зокрема, транспорт, енергетику, сільське господарство, будівництво та промисловість. Також ЄЗК передбачає підвищення ефективності використання ресурсів, відновлення біорізноманіття та зменшення забруднення. Основною метою Зеленого Курсу є перетворення Європи до 2050 року на перший кліматично-нейтральний континент[1].

З метою дослідження процесу мембранного електролізу забруднених Кадмієм розчинів було вивчено вплив перемішування аноліту і температури розчинів католіту і аноліту.

Для вивчення впливу перемішування та температури на кінетику електромембранного процесу були приготовані розчини аноліту (0,2 моль/екв-л CdSO_4) та католіту (1% р-н H_2SO_4). Використовували двохкамерний електролізер, що містив катодну камеру, яка відділена від анодної катіонообмінною мембраною RALEX®CM-PES 11-66. Катод – пластина з титану і анод – свинцева пластина під'єднані до джерела постійного електричного струму. Окрім мембранного модулю було застосовано джерело постійного електричного струму (Регульований лабораторний блок живлення Masteram MR 5010E BC-24), кулонометр для контролю за кількістю електрики, що проходить крізь систему. Електроліз проводили 1 годину (3600с), при густині анодного струму 0,3–0,4 А/дм² та напрузі 8-9 В [2,3]. Для перемішування та нагрівання було застосовано магнітну мішалку ММ-5.

Результати експериментів та розрахунки виходу за струмом Кадмію за певних умов проведення електролізу відображено в Таблиці 1.

Отримані результати свідчать про те, що вихід за струмом Кадмію на катоді незначно зростає при перемішуванні, але при нагріванні спостерігається значний приріст, що дає нам розуміння позитивного ефекту підвищення температури на процес мембранного електролізу.

Таблиця 1 – Розрахунок виходу за струмом кадмію в процесі електрохімічного вилучення іонів кадмію в залежності від умов його проведення

Умови мембранного електролізу	Зміна маси титанового катоду, г	Зміна маси катоду кулонометра, г	Зміна концентрації в катодіті, моль-екв/л	Вихід за струмом, %
Без перемішування, $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,071	0,503	0,00369	29,75
З перемішуванням 800 об/хв, $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,016	0,389	0,00337	30,11
З перемішуванням 800 об/хв, $t = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,225	0,551	0,00300	37,88

Список літератури

1. Європейський зелений курс. *Екодія*. URL: https://ecoaction.org.ua/ievropejskyj-zelenyj-kurs.html?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIoPKLwf2LjAMVZFWRBR3Cqy6EEAAYASAAEgJ88_D_BwE (дата звернення: 15.03.2025).
2. Радченко А. Е. Використання мембранного електролізу в гальванічних процесах : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 102 - хімія / наук. кер. С. Б. Большаніна. Суми : Сумський державний університет, 2024. 52 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/95555> (дата звернення: 15.03.2025).
3. Vasyl Serdiuk, Vsevolod Sklabinskyi, Svetlana Bolshanina, Alexey Ableyev, Tetiana Dychenko. Effect of Hydrodynamic Parameters on Membrane Enhancement. //Advances in Design, Semulation and Manufacturing: Proc-cedings of the 3rd International Conference on Design, Semulation and Manufacturing: The innovation Exchange, DSME-2020, June 9-10, 2020. – Kharkiv, Ukraine: Springer, 2020. – Volum 2: Mechanical and Chemical Engineering. – P. 228-238.

**СЕКЦІЯ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ.
ПРИКЛАДНА ГІДОАЕРОМЕХАНІКА»**

ГІДРАВЛІЧНІ ПРИВОДИ З ПРОПОРЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

Кулик М. Р., студент ГМ.м-41; Кулініч С. П., старший викладач кафедри ПГМ, Сумський державний університет, м. Суми

Все більшого розповсюдження, особливо в мобільній техніці, набуває необхідність істотного спрощення схеми трасування гідравлічних ліній, їх кількості та протяжності. При застосуванні гідравлічних розподільників з ручним керуванням органи управління (гідравлічні розподільники) розташовуються в кабіні оператора і з'єднуються з гідравлічними двигунами трубопроводами, які мають значну протяжність та складну схему. Спростити схему гідравлічних ліній, зменшити їх протяжність можливо при застосуванні гідроапаратури з електричним керуванням. Такі гідроапарати, як правило, розміщуються у зручному місці поряд з гідравлічними двигунами, а зв'язок з пультом оператора реалізується гнучкими електричними кабелями.

Для дистанційного керування напрямком переміщення робочих органів у гідроприводах з цикловим режимом роботи застосовуються гідророзподільники з дискретними (включено-вимкнено) електромагнітами. Регулювання параметрів (швидкість руху штоку, зусилля) забезпечують інші гідроапарати (регулятори потоку, клапани тиску) [1]. Гідравлічні розподільники з пропорційним електричним керуванням дозволяють суттєво зменшити кількість гідроапаратури. Вони, як і направляючі розподільники, виконують функції реверсу та зупинки руху гідродвигунів, одночасно додатково дозволяють вирішувати багато задач: регулювання швидкості та зусилля на вихідній ланці гідродвигуна, забезпечують задані закони розгону і гальмування гідродвигунів.

Інтеграція гідроприводів з електронними системами управління, дозволяє успішно поєднувати переваги в силових та динамічних характеристиках гідравлічних приводів з можливостями мікроелектроніки та комп'ютерної техніки для оптимального керування [2]. При цьому вдається забезпечити гнучке переналадження гідравлічного приводу під технічне завдання споживача.

Список літератури

1. Acuna-Bravo W., Canuto E., Agostani M., Bonadei M. Control engineering practice proportional electro-hydraulic valves: an embedded model control solution. Control Engineering Practice [online]. 2017, 62, p. 22-35, Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.01.013>

2. Sun H, Tao J, Qin C, Yu H, Xu S, Zhuang Q, Liu C. Optimal energy consumption and response capability assessment for hydraulic servo systems containing counterbalance valves / H Sun, J Tao, C Qin, H Yu, S Xu, Q Zhuang, C Liu // Journal of Mechanical Design;145(5):053501, 2023. – P. 15. DOI: 10.1115/1.4056497

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА НИЗЬКОЇ ШВИДКОХІДНОСТІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИХРОВОГО ТИПУ

*Сукрут С. В., аспірант групи А-35/МБ; Ратушний О. В., канд. техн. наук,
доц., доцент каф. ПГМ, Сумський державний університет, м. Суми*

Сучасна промисловість постійно висуває нові вимоги до енергоефективності насосного обладнання. Відцентрові насоси низької швидкохідності використовуються у багатьох галузях, проте їх енергетичні втрати залишаються критичною проблемою. Одним із перспективних напрямів вдосконалення є застосування вихрових ущільнюючих елементів, що сприяють зниженню втрат робочого середовища та підвищенню стабільності роботи обладнання.

Мета даного дослідження полягає у виявленні впливу конструктивних параметрів вихрових ущільнень на ефективність відцентрового насоса, а також визначити їх оптимальні характеристики.

Для досягнення поставленої мети проведено експериментальні та теоретичні дослідження. Було розроблено тривимірні моделі ущільнень, виконано стендові випробування на дослідних зразках. Основну увагу приділено аналізу геометрії ущільнювальних елементів, впливу швидкості обертання ротора та властивостей робочого середовища на показники енергоефективності.

Таблиця 1 – Показники покращення характеристик насоса:

Параметр	Без ущільнень	З вихровими ущільненнями
Гідравлічні втрати, %	25	10
Споживана потужність, кВт	5,2	4,1
Стабільність тиску, %	78	92
Термін служби, років	3	6

Дані результати свідчать, що впровадження вихрових ущільнень суттєво знижує гідравлічні втрати та покращує експлуатаційні показники насосного обладнання. Застосування вихрових ущільнень у відцентрових насосах низької швидкохідності відкриває нові можливості для підвищення їх енергоефективності та довговічності. Подальші дослідження будуть зосереджені на оптимізації геометрії ущільнювальних каналів та дослідженні впливу різних матеріалів ущільнень на роботу насоса.

Список літератури

1. Бойко В. С. Насосні установки: підручник. – Київ: Політехніка, 2015. – 320 с.
2. Петров Г. Л. Гідродинаміка насосних систем. – Харків: Техносфера, 2018. – 280 с.
3. Сидоренко О. В. Дослідження роботи ущільнювальних елементів насосного обладнання // Наукові записки НУХТ. – 2020. – №2(48). – С. 45-52.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСІВ ДИНАМІЧНОГО ТИПУ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Бондаренко К. М., аспірант групи А-45/МБ; Ратушний О. В., канд. техн. наук, доц., доцент каф. ПГМ, Сумський державний університет, м. Суми

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва питання підвищення енергоефективності технологічного обладнання набуває стратегічного значення. Це зумовлено не лише економічними факторами, а й екологічними аспектами. Серед широкого спектра технологічного обладнання особливу роль у промисловості відіграють насоси динамічного типу, які забезпечують транспортування рідин у багатьох галузях, включаючи нафтохімічну, водопровідну, енергетичну та харчову промисловість.

В умовах сучасного промислового виробництва важливою тенденцією є впровадження інноваційних підходів до удосконалення насосного обладнання. Одним із перспективних напрямків є розробка та застосування нових матеріалів, які сприяють зниженню тертя, зменшенню енергетичних втрат та підвищенню довговічності обладнання. Використання композитних матеріалів для виготовлення робочих коліс і корпусів насосів дозволяє значно знизити вагу конструкції, що, у свою чергу, зменшує навантаження на електродвигуни і сприяє зниженню споживання енергії. Крім того, композитні матеріали демонструють високу стійкість до зношування, корозії та впливу агресивних середовищ, що є особливо важливим у хімічній та нафтопереробній промисловості.

Сучасні цифрові технології (наприклад, Віддалений моніторинг і діагностика роботи насосів) Завдяки їх впровадженню знижується не лише енергоспоживання, а й експлуатаційні витрати, що позитивно позначається на економічних показниках підприємств.

Ще одним важливим аспектом удосконалення насосного обладнання є покращення аеродинамічних та гідродинамічних характеристик насосів. Оптимізація конструкції, застосування інноваційних інженерних рішень, таких як покращена форма лопатей робочих коліс або використання новітніх покриттів для зменшення опору, дозволяють значно знизити втрати енергії та підвищити коефіцієнт корисної дії насосних установок. Внаслідок цього знижується споживання електроенергії при транспортуванні рідин, що сприяє загальному підвищенню енергоефективності виробництва.

У контексті глобальних цілей сталого розвитку, передбачених ООН, такі інновації сприяють переходу до більш ефективного використання енергетичних ресурсів та зменшення рівня техногенного навантаження на екосистему планети.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE INSTALLED CAPACITY OF A COGENERATION UNIT AND DEVELOPMENT OF RELATED MEASURES FOR ITS IMPLEMENTATION

Yehorov Y., student of group IM-21/3.km; Sotnyk M., Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

The decentralisation of energy supply to critical infrastructure facilities in Ukraine allows to increase their sustainability and energy efficiency by introducing cogeneration units that simultaneously generate electricity and heat. In order to determine the technical parameters of cogeneration units that should be used to supply electricity to boiler houses of heating systems or other facilities, as well as to identify additional measures to be implemented to integrate the unit into the technological process, a methodology is proposed that includes the following steps:

1. Determination of the estimated total average hourly electricity consumption by the boiler house (calculated based on the actual consumption during the coldest month of the heating period, for example, January) – $P_{average\ fact}$, kW.
2. Determination of the total installed capacity of power receivers – $P_{set,total}$, kW.
3. Determination of the calculated total load factor of power receivers – $K_{load} = P_{average\ fact} / P_{set,total}$.
4. Determination of the installed electrical capacity of the main power receivers that provide the main elements of the technological process (network pumps, smoke exhausters, fans) and operate around the clock – $R_{set,total}$ round-the-clock.

The above equipment is mostly electromechanical systems of rotary type, which use drive motors and, when they are put into operation, the effect of a sudden sharp increase in the starting currents of electric motors is observed. Starting current surge can be increased by a factor of up to 5–7, which leads to a short-term increase in the electrical load on the power generation source. This fact should be considered when choosing a cogeneration unit model, generation capacity, and effective measures for the simultaneous introduction of additional equipment that can avoid or minimize the negative impact of this effect. The main technical measures to reduce the negative impact of this phenomenon may include: the use of devices for smooth frequency control of the rotor speed of drive motors during their start-up selection of the appropriate power of the cogeneration unit, which would allow compensation for the instantaneous increase in power (currents) during start-up. When choosing the power of the plant, attention should be paid to the efficiency of its operation. Therefore, it is necessary to consider the possibility of using plants of

increased electrical capacity with the simultaneous involvement (use) of additional consumers for the efficient utilization (use) of excessive volumes of electricity generation (for example, additional electric boilers). The choice of implementing such measures should be preceded by a feasibility analysis that considers the amount of initial (capital) costs, as well as costs during further operation, i.e., an analysis of the life cycle cost of the cogeneration unit.

Further determination of the installed capacity of the cogeneration unit should be based on: the design and actual capacities of gas networks, in terms of the volume of natural gas supply to the boiler house; design and actual capacities of electrical networks and their equipment in terms of the volume of electricity transmission from cogeneration units to the general power supply networks; electrical capacity of the boiler house power receivers, schedules (profiles) of their electricity consumption, peculiarities of the starting characteristics of the drive motors of electromechanical systems and other consumers that ensure the technological process of the boiler house operation.

The proposed options for choosing a cogeneration unit according to the installed electrical capacity are as follows:

‘Energy island’. The electric power generation capacity is selected on condition that all power receivers of the boiler house are supplied with electricity and operate in the ‘energy island’s mode, i.e., on condition of complete disconnection from the power supply network and ‘utilization’ (integration) of heat energy into the heat supply networks connected to the boiler house.

‘Network station’. The electric power generation capacity is selected on condition that all power receivers of the boiler house are supplied with electricity in the ‘energy island’ mode and that the volumes of excess electricity generated can be ‘flown’ to the general grid or to separate local consumers. At the same time, the maximum generation capacity is limited by the capacity of the gas networks and the corresponding natural gas pressure to which the boiler house equipment is connected.

‘Network station – Mini-CHP plant’. The electric power generation capacity is chosen to be as high as possible, provided that all power receivers of the boiler house are supplied with electricity, and that the volumes of excess electricity can be ‘fed’ into the general grid or to separate local consumers with the necessary permits as a ‘player’ in the energy market.

In this case, the volume of electricity generation should be limited to the capacity of heat utilization by consumers connected to the boiler house.

ГІДРОДИНАМІЧНЕ УЩІЛЬНЕННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Панченко В. О., доцент; Сисенко В. В., аспірант; Походня Б. Є., студент, кафедра. прикладної гідроаеромеханіки, Сумський державний університет, м. Суми

Під час роботи гідродинамічного ущільнення насоса (під час його обертання із заданою кутною швидкістю) унаслідок дії відцентрових сил рідина відтискується на периферію, утворюючи рідинне кільце, відокремлене межею розподілу фаз від газової порожнини, наповненої повітрям. Наявність прямого контакту рідинної та газової фаз може призвести до потрапляння краплин рідини до газової порожнини та відповідно до зростання витоків рідини через ущільнення, а також до неконтрольованого потрапляння повітря у перекачувану рідину, що може негативно вплинути на характеристики насоса (зменшити тиск на виході та погіршити антикавітаційні властивості).

В основу дослідження поставлена задача удосконалення гідродинамічного ущільнення насоса шляхом зміни його конструкції, що дозволить підвищити його герметичність та позитивно вплинути на характеристики насоса.

Запропоноване ущільнення (рис. 1) має таку конструкцію. Корпус 1 має порожнину 2. На вал 3 надіта втулка 4, до якої присьоднано диск 5. На диску розміщені лопаті меншого ярусу 6 та більшого ярусу 7. На зовнішніх діаметрах лопатей 6 і 7 встановлені циліндричні бандажі 8 і 10 із козирками 9 і 11. Диск 5 має кільцеву проточку 12, розміщену між ярусами лопатей 6 і 7. На корпусі 1 є циліндричний виступ 13, що заходить у кільцеву проточку 12 на диску 5.



Рисунок 1 – Ущільнення

Дослідження виконувалось у рамках НДР «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (ДР № 0121U112684; договір № БФ/26-2021).

ЧОГО ЧЕКАТИ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ІНЖИНІРИНГ ТА АУДИТ»?

*Сапожніков С. В., доцент; Григоренко Є. А., студентка групи І-21/Іем,
кафедра прикладної гідроаеромеханіки, Сумський державний
університет, м. Суми*

Згідно рішення Вченої ради СумДУ в лютому 2025 року змінилася назва освітніх програм (ОП) у зв'язку із необхідністю приведення їх у відповідність до вимог частини 6 статті 9¹) Закону України «Про вищу освіту» без зміни змісту програмних результатів навчання ОП з «Енергетичний менеджмент» на «Енергетичний інжиніринг та аудит».

В той же час зміна назви повинна приводити до зміни змісту. Тому, виникли деякі питання: як зміниться можливість та місця працевлаштування здобувачів освіти, як змінити результати навчання (програмні та очікувані), компетенції і потрібно це робити тощо?

Інжиніринг (з англ. «Engineering») – набір способів та методів, які підприємство використовує для проектування власної діяльності [1].

Існують різні види інжинірингу: консультативний, зворотній, прямий, технологічний, будівельний, енергетичний, реінжиніринг, соціальний, фінансовий, TRV3-інжиніринг і інші.

В традиційному розумінні інжиніринг – це інженерно-консультативні послуги, пов'язані з підготовкою виробничого процесу, або послуги із забезпечення нормального перебігу процесу виробництва та реалізації продукції. Інжинірингові послуги зазвичай надають спеціалізовані інженерно-консультаційні (інжинірингові) фірми. Інколи їх надають будівельні та виробничі компанії [1].

Пошук в Інтернеті показав, що в Україні відсутня точна статистика, щодо кількості компаній, які безпосередньо займаються енергетичним інжинірингом або інжинірингом в енергетиці. Однак, за даними аналітичної системи YouControl, станом на липень 2024 року майже 900 організацій мали у своєму розпорядженні понад 1 тисячу об'єктів тепло-та електроенергетики. Крім того, за даними довідника підприємств, в Україні налічується 43 компанії, що надають інжинірингові та консультаційні послуги в сфері енергетики, переважно альтернативної.

ОП, які безпосередньо містять у своїй назві словосполучення «енергетичний інжиніринг», зустрічаються рідко. Проте існують програми, назви яких включають як "енергетичний", так і "інжиніринг", хоча не обов'язково у такому порядку.

Тому зміна назви ОП та її наповнення потребує дискусії викладачів кафедри та роботодавців.

Список літератури

1 Інжиніринг. – Режим доступу : <https://surl.li/nplxng>.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА КОНТРРОТОРНОГО НАСОСА

*Куліков О. А., м.н.с., Сумський національний аграрний університет;
Ратушний О. В., канд. техн. наук., доц., Сумський державний університет;
Івченко О. В., канд. техн. наук., доц., Сумський національний
аграрний університет, м. Суми*

У цій роботі проведено детальний аналіз ефективності різних типів насосного обладнання, зокрема багатосекційних насосів типу ЦНС, консольного та контрроторного насосів. Дослідження ґрунтується на оцінці енергоспоживання та матеріалоемності, що дає змогу комплексно розглянути експлуатаційні та конструктивні особливості кожного з них.

У межах дослідження розглянуто різні режими роботи насосів, виконано розрахунки для серії насосів ЦНС із різними характеристиками, а також для консольного та контрроторного насосів із відповідними параметрами.

Основна мета роботи — порівняти ефективність зазначених типів насосів за рівнем енергоспоживання (ϵ_{ef}) та матеріалоемності (ϵ_{mat}). Отримані результати дають змогу визначити доцільність використання контрроторного насоса в порівнянні з іншими моделями, а також оцінити його технічні й економічні переваги та недоліки.

Для порівняння ефективності досліджуваних насосів були обрані оптимальні робочі режими з подачами 180 м³/год та 215 м³/год, що відповідає Qном та 1,2Qном відповідно. Значення коефіцієнтів життєвого циклу насосів у цих режимах наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти життєвого циклу насосів.

Подача Q, м ³ /год	ЦНС								Контррото рний насос		Консольни й насос	
	180–425		180–383		180–340		180–297					
	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}	ϵ_{ef}	ϵ_{mat}
180	3,92	2,12	3,89	2,19	3,89	2,28	3,89	2,41	3,83	0,45	3,39	1,25
215	4,15	2,07	4,17	2,14	4,17	2,22	4,23	2,38	3,83	0,43	3,56	1,20

Аналіз зазначених характеристик наведені в таблиці 1 дозволяє дійти висновку, що контрроторний насос забезпечує найбільш оптимальне співвідношення між високою енергоефективністю та низькою матеріалоемністю. Він споживає мінімальну кількість ресурсів при виробництві та демонструє один із найкращих показників енергоспоживання. Водночас насоси серії ЦНС, хоч і відзначаються високою енергоефективністю, мають значно більшу матеріалоемність, що може суттєво впливати на вибір обладнання залежно від умов експлуатації.

РАДІАЛЬНЕ ЗУСИЛЛЯ В КОМБІНОВАНОМУ ВІДВОДІ

Луговий О. Л., аспірант групи А-45/МБ; Гусак О. Г., канд. техн. наук, професор, кафедра прикладної гідроаеромеханіки, Сумський державний університет, м. Суми

На відміну від напрямного апарата проміжного ступеня, за яким створюється практично вісесиметричний потік, у комбінованому відводі, який складається із напрямного апарата та відвідної камери, яка у більшості багатоступеневих насосах має асиметричний відвідний патрубков, вихідний потік на виході напрямного апарата втрачає свою вісесиметричність. Внаслідок чого в кінцевому ступені відцентрового багатоступеневого насоса виникає радіальне зусилля. Це відноситься також і до одноступеневих насосів з комбінованим відводом.

Прогнозування радіального зусилля на етапі розробки відцентрового насоса є важливим компонентом розробки, тому що це дозволяє зробити правильний вибір діаметру валу і підшипникових опор.

В найбільш загальному випадку радіальне зусилля оцінюється за формулою:

$$F_R = K_R \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot D_2 \cdot B_{2tot},$$

де K_R – емпіричний коефіцієнт радіального зусилля,

ρ – густина перекачуваної рідини, кг/м^3 ,

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ,

H – напір ступеня, м,

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, м,

B_2 – ширина робочого колеса на виході включно з дисками, м

Коефіцієнт K_R є емпіричним, отриманим на основі вимірювань радіального зусилля на підшипникових опорах різних насосів. Оскільки радіальне зусилля залежить від багатьох факторів, цей коефіцієнт має дуже широкий діапазон значень.

На відміну від спіральних відводів, для комбінованих відводів, які складаються з напрямного апарата і кільцевої камери, в літературі наведений лише незначний обсяг даних. Тому для цих відводів прогнозування радіального зусилля має значну похибку. Наприклад в монографії Гюйліха рекомендовано для комбінованих відводів приймати максимальний коефіцієнт $K_R=0,15$ [1]. Це призводить до перерозмірювання діаметру валу і підшипників.

Виходячи з існуючих конструкцій відцентрових насосів, які мають комбінований відвід з напрямним апаратом і кільцевою камерою, можна визначити три основних типи комбінованих відводів: з периферійною камерою, з боковою камерою, з периферійно-боковою камерою (див. Рис. 1). Для усіх цих типів можливі обидва варіанти конструктивного виконання

відводу: з напрямним апаратом, розташованим осторонь від патрубку, з напрямним апаратом, встановленим безпосередньо в камері навпроти патрубка. Виходячи з принципу виникнення радіального зусилля можна припустити, що положення напрямного апарата безпосередньо впливає на величину радіального зусилля. Аналіз робочого процесу в комбінованих відводах різних типів дозволить визначити вплив конструктивних особливостей і уточнити методику прогнозування радіального зусилля.

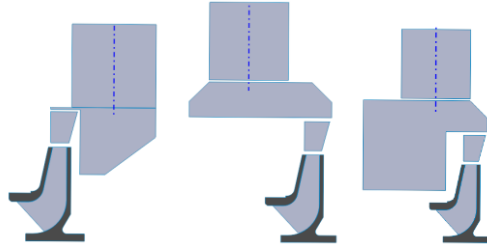


Рисунок 1 – Типи комбінованих відводів (зліва направо — з боковою камерою, з периферійною камерою, з периферійно-боковою камерою)

Огляд літератури дозволяє зробити висновок, що аналіз робочого процесу в комбінованому відводі можна виконати за допомогою постановки чисельного дослідження, яке виконується шляхом рішення системи рівнянь Рейнольдса з рівнянням нерозривності на розрахунковій сітці [2, 3, 4]. Порівняння результатів дослідження течії у комбінованих відводах з результатами фізичних досліджень, проведені різними авторами, показує на хороше співпадіння результатів.

Список літератури

1. J.F.Gulich. Centrifugal Pumps / J.F.Gulich. - Fourth edition. - Springer Nature Switzerland AG, 2020 – 1264 p.
2. Minggao Tan. Investigation of radial force and hydraulic performance in a centrifugal pump with different guide vane outlet angle / Minggao Tan, Bao Guo, Houlin Liu, Xianfang Wu, Kai Wang // INTERNATIONAL LTD.JOURNAL OF VIBROENGINEERING. – 2015. – ISSUE 6. – VOLUME 17. – 2015. – pp. 3247-3260.
3. Xueyi Song. Investigation of radial force in a high-speed miniature pump / Xueyi Song, Kexin Yheng, Xianwu Luo // Journal of Physics. Conference Series 2707 (2024) 012040. The 17th Asian International Conference on Fluid Machinery (AICFM 17 2023).
4. Dongrong Meng. Numerical Simulation Research on Radial Force of Centrifugal Pump with Guide Vanes / Dongrong Meng, Ting Jiang, Hongling Deng, Gaoyang Hou // Hindawi Shock and Vibration. Volume 2021, Article ID 6638123, 10 pages.

РОЗРОБЛЕННЯ САМООЧИЩУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ

*Муштай М. В., аспірант групи А-45/МБ; Кондусь В. Ю., канд. техн. наук,
доцент, Сумський державний університет, м. Суми*

Вихрові насоси широко використовуються для перекачування рідин із домішками, наприклад, твердих частинок, волокнистих матеріалів та побутових відходів. Проте одним із основних мінусів цих насосів є засмічення робочих частин, що знижує їхню продуктивність та збільшує витрати енергії.

Мета цього дослідження—розробка ефективного механізму самоочищення для вихрового насоса через модифікацію робочого колеса. Припущення дослідження полягає в тому, що зміна конструкції лопатей створює пульсаційний ефект, який сприяє очищенню міжлопатевих каналів від відкладень.

Для реалізації цього припущення було розроблено два варіанти робочих коліс: зі звичайним рівномірним розташуванням лопатей та з нерівномірним їх розподілом. Для аналізу розподілу тиску та швидкості потоку у міжлопатевих каналах було використано чисельне моделювання в програмному середовищі ANSYS CFX. Дослідження показали, що в розширених міжлопатевих каналах спостерігається пульсація тиску до 111 кПа, що більш ніж у два рази перевищує показники стандартного робочого колеса.

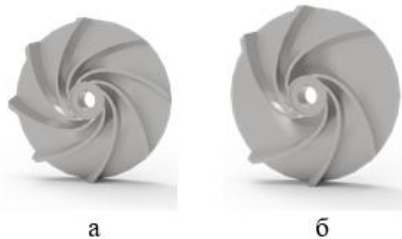


Рисунок 1 – Конструкція робочого колеса вільновихрового насоса з рівномірним (а) і нерівномірним (б) розподілом лопатей

Таким чином, отримані результати підтвердили можливість ефективного самоочищення вихрових насосів за рахунок оптимізації конструкції робочого колеса. Впровадження цієї технології дозволить збільшити енергоефективність та термін служби насосного обладнання.

Дослідження виконувалось у рамках НДР «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (ДР № 0121U112684; договір № БФ/26-2021).

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСІВ ТИПУ Д У МЕРЕЖАХ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ

*Кутас С. С., аспірант групи А-45МБ; Сотник М. І., професор,
Сумський державний університет, м. Суми*

Зважаючи на актуальні енергетичні та економічні виклики, що особливо загострилися в Україні в останні роки, постала невідкладна потреба у підвищенні енергоефективності виробництва та зменшенні залежності від імпортованих енергоносіїв. Розв'язання цієї проблеми потребує комплексного підходу шляхом впровадження вітчизняного наукоємного енергоефективного обладнання, зокрема насосного. Електроспоживання є основною складовою витрат у системі водозабезпечення. Аналіз наукових джерел показав, що підвищення енергоефективності функціонування насосів у системах водозабезпечення є актуальним напрямком досліджень. У роботах розглядається можливість використання частотного регулювання для оптимізації режимів роботи насосів, що дозволяє значно скоротити витрати електроенергії. Досліджується вдосконалення гідравлічних характеристик насосів за рахунок зміни конструктивних параметрів, таких як форма лопатей робочого колеса та геометрія проточної частини. Орієнтовний резерв підвищення енергоефективності оцінюється в 2 – 6 %. Зниження споживання електроенергії насосними агрегатами та підвищення коефіцієнта корисної дії насосних систем має досягатися переважно шляхом модернізації насосного обладнання, яке вже перебуває в експлуатації. Насоси типу Д при експлуатації «відстежують» опір гідравлічної мережі, який визначає їх робочі режими. При роботі насоса за межами визначеного робочого діапазону виникають додаткові втрати енергії, зумовлені появою зон зворотних течій, відривом вихорів тощо. За результатами багатьох досліджень в системах водозабезпечення житлово-комунального господарства насоси експлуатуються лише 9 – 25 % часу своєї роботи в оптимальних режимах. Тому, паспортний ККД насосів практично зводиться нанівець низькою ефективністю їх роботи у змінному режимі.

Виходячи з викладеного, є актуальним вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення енергоефективності функціонування насосних агрегатів типу Д комбінованими методами у мережах водозабезпечення зі змінним робочим режимом шляхом розширення робочої зони насоса в залежності від умов використання.

З огляду на неможливість повного відтворення ідентичних умов експерименту та високу вартість проведення комплексних досліджень робочого процесу відцентрових насосів фізичними методами, робочий процес спіральних насосів із робочим колесом двостороннього входу досліджується числовими методами з використанням програмного середовища ANSYS.

Отже, підвищення енергоефективності насосів типу Д у мережах водозабезпечення є важливим напрямом для досліджень та впровадження.

ГІПОТЕЗА ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОЇ КОНТРРОТОРНОЇ МАШИНИ

*Ратушний О. В., канд. техн. наук, доц., доцент каф. ПГМ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Проаналізуємо робочий процес відцентрової контрроторної машини (ВКМ) визначивши наступні терміни та індекси. Перший (I) ротор – це перша лопатева решітка (робоче колесо, ротор), у яку входить потік рідини безпосередньо з підвода. Другий (II) ротор – це друга лопатева решітка (контрротор), яка сприймає потік рідини на виході з першого ротора і після його проходження направляє на вихід із контрроторної системи. На рисунку 1 показана схема відцентрової контрроторної машини.

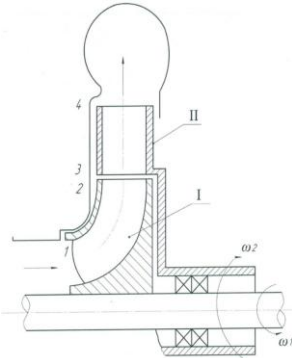


Рисунок 1 – Схема відцентрової контрроторної машини

профілювання їх лопатевих систем та створення вихрових структур у прикільцевій області ВКМ. Вихрова структура, у свою чергу, буде відповідати, головним чином, за створення високого напору ВКМ.

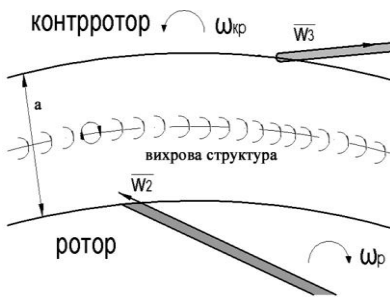


Рисунок 2 – Вихрова структура у прикільцевій області ВКМ

Таким чином сутність сумісної роботи відцентрової контрроторної машини з двома послідовно встановленими радіальними решітками полягає у зміні моментів імпульсу у кожній решітці і гідродинамічному процесі у прикільцевій області між ними. Передбачається, що у центральній частині прикільцевої зони між ротором і контрротором виникає квазістаціонарна вихрова структура (рис. 2).

Це дозволяє сформулювати рівняння теоретичного напору ВКМ:

$$H_T = H_T(I) + H_T(II) + H_{T\text{вихр}}(I - II),$$

де $H_T(I)$ – компонента напору, яка створюється робочим колесом; $H_T(II)$ – компонента напору, яка створюється контрротором; $H_{T\text{вихр}}(I - II)$ – компонента напору, яка створюється за рахунок вихрового процесу у прикільцевій зоні ВКМ.

ВЗАЄМОДІЯ ПОТОКУ НЕНЬЮТОНІВСЬКОЇ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ ІЗ РУХОМИМИ СТІНКАМИ КОАКСІАЛЬНОГО КІЛЬЦЕВОГО КАНАЛУ

Харченко Є. В., професор кафедри «Опір матеріалів та будівельна механіка»; Бутринський Д. І., аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Моделі потоку ньютонівської в'язко-пластичної рідини застосовуються для опису поведінки бурових промивальних розчинів, дрібнозернистих суспензій, біологічних рідин, розплавів полімерів у процесі їх транспортування і екструзії та інших випадках [1].

Розглядається ustalений потік в'язко-пластичної рідини вздовж коаксіального каналу, утвореного областю між концентрично розташованими стінками (циліндричними поверхнями) каналу, які мають задану швидкість вздовж осі каналу.

Приймається, що режим руху рідини ламінарний, лінії потоку рідини паралельні осі каналу, потік зумовлений градієнтом тиску вздовж каналу та швидкостями руху зовнішньої та внутрішньої стінок каналу. Рідина описується в'язко-пластичною моделлю Бінгама [2]; на стінках каналу виконуються умови «прилипання» - на внутрішній та зовнішній границях області рідини її швидкості збігаються із заданими швидкостями руху стінок, взаємодія рідини із стінками каналу здійснюється силами тертя. Приймається, що ламінарна течія рідини реалізується при досягненні в'язко-пластичною рідиною граничної рівноваги при зсуві із утворенням у області потоку квазітвердого ядра у межах якого дотичні напруження менші початкової границі текучості а швидкість є постійною. З урахуванням рівнянь рівноваги, реологічної залежності, крайових умов та умов неперервності отримано вирази швидкостей у точках поперечного перерізу потоку та сил тертя об стінки каналу в залежності від градієнта тиску, швидкостей стінок каналу, реологічних параметрів рідини.

Розглянуто числові результати для рідини Бінгама для випадків реологічної залежності із багатозначною початковою гілкою (при дотичних напруженнях менших початкової границі текучості) та наближеною згладженою залежністю.

Запропонований підхід дає можливість ефективно розраховувати швидкісні параметри ustalеного потоку рідини при заданих швидкостях руху стінок каналу.

Список літератури

1. Balmforth N.J., Frigaard I.A., Ovarlez G. Yielding to Stress: Recent Developments in Viscoplastic Fluid Mechanics. Annual Review of Fluid Mechanics, 2014. 46:121–46
2. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.

ПОКРАЩЕННЯ ВСМОКТУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА КАВІТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ШЛЯХОМ ПОПЕРЕДНЬОГО ЗАКРУЧУВАННЯ ПОТОКУ НА ВХОДІ В РОБОЧЕ КОЛЕСО

Цибульняк С. Ю., аспірант групи А-35/МБ; Гусак О. Г., канд. техн. наук, професор, кафедра прикладної гідроаеромеханіки, Сумський державний університет, м. Суми

Практика проектування та впровадження відцентрових насосів з роботою на підвищених частотах обертання (6000 об/хв, а в деяких випадках і 9000 об/хв) дозволяє суттєво скоротити масогабаритні показники, а також в цілому ряду випадків знизити рівень енергоспоживання, що є ключовими складовими структури загальної вартості життєвого циклу насосів.

Проте, в такому випадку увагу слід акцентувати на питаннях пов'язаних з недопущенням погіршення всмоктувальних (кавітаційних) якостей насосів, оскільки збільшення частоти обертання ротора насоса призведе до підвищення циркуляції потоку в проточній частині і, як наслідок, до зниження тиску на вході в насос.

Як відомо [1] максимальне динамічне падіння тиску визначається найбільшим значенням відносної швидкості $W_{вх}$ потоку на вході в робоче колесо:

$$\Delta h_{вс\ max} = \frac{W_{вх}^2 - U_{вх}^2}{2g} + \frac{U_1 V_{U1}}{g} + h,$$

де $W_{вх}$ – відносна швидкість в периферійній частині вхідної кромки лопаті робочого колеса, м/с; $U_{вх}$ – колова швидкість в периферійній частині вхідної кромки лопаті робочого колеса, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с², U_1 – колова швидкість на вході в робоче колесо, м/с; V_{U1} – колова складова абсолютної швидкості на вході в робоче колесо, м/с; h – гідравлічні втрати в підвідному пристрої насоса, м.

Зменшення середнього значення відносної швидкості шляхом введення кута атаки при потраплянні потоку на лопать не призводить до зменшення місцевого значення максимуму відносності швидкості під час обтікання вхідної кромки профілю лопаті.

Попереднє закручування потоку (введення циркуляції потоку на вході) може забезпечити зменшення максимуму відносної швидкості. Проте, закручування потоку за допомогою спеціального вхідного напрямного апарату приводить до збільшення $\Delta h_{вс\ max}$ на величину $\frac{U_1 V_{U1}}{g}$. У зв'язку з цим попереднє закручування потоку може бути використане для зменшення динамічного падіння тиску $\Delta h_{вс\ max}$ тільки за умови, що воно здійснюється не за рахунок власної енергії потоку, що поступає на робоче колесо, а за рахунок роботи зовнішніх для системи сил.

Таке закручування потоку може бути здійснене шляхом змішування основного потоку з деяким вторинним потоком, в якому є обертовий рух. Ця принципова схема використана в конструкції, що наведена на рис. 1.

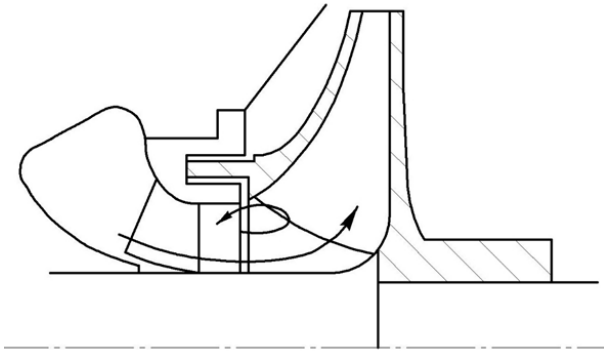


Рисунок 1 – Конструкція робочого колеса для підкручення потоку на вході

У робочих колесах із просторовою на вході геометрією лопатей в режимі недовантаження за витратою виникають зворотні течії в області входу потоку в робоче колесо. Рідина, яка виходить з робочого колеса назад в область всмоктування, має значну колову швидкість і, перемішуючись з основним транзитним потоком, закручує його. Для попередження розповсюдження в область підвідного пристрою осьового вихору необхідно встановлювати ґратку плоских ребер.

Аналіз літературних джерел свідчить, що використання такої конструкції дозволяє досягти значення кавітаційного коефіцієнту швидкохідності $S=1200-1500$, що значно перевищує звичайні значення 800-900.

Вказаний підхід розглядається, як один із шляхів покращення всмоктувальної здатності та кавітаційної якості відцентрових насосів.

Список літератури

1. Срібнюк С.М. Насоси і насосні установки. Розрахунки, застосування і випробування: Навч. Посіб. – К.:Центр учбової літератури, 2012. – 312 с.

**СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.
ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА»**

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАЯВНОСТІ ТА РОЗМІРІВ КОРПУСУ НАВКОЛО РОТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ

*Ванєєв С. М., зав. кав. ТТФ; Мірошніченко О. І., асп.; Мірошніченко Д. В.,
старший науковий співробітник; Бага Т. С., асистент,
Сумський державний університет, м. Суми,*

Поршневі пневмогідроприводи, що використовуються в даний час для запірної та регулюючої арматури (наприклад, для кульових кранів на компресорних станціях та вздовж магістральних газопроводів) мають ряд недоліків. Наявність гідробалонів з маслом призводить до збільшення масогабаритних характеристик та експлуатаційних витрат, пов'язаних з необхідністю створення запасів масла на компресорних станціях, контролю його рівня в балонах, періодичного регулювання приводу при зміні температури навколишнього середовища, а також виникнення аварійних ситуацій при витокі масла. Для приводу кульових кранів великих прохідних перерізів, доцільно використовувати струминно-реактивний турбопривід (СРТП), основними частинами якого є струминно-реактивна реверсивна турбіна (СРТ) з редуктором та передавальним механізмом. СРТП у порівнянні з класичними поршневіми приводами кульових кранів не вимагає для нормальної роботи другого робочого тіла – мастила чи спеціальної гідравлічної рідини. У зв'язку з цим не вимагає постійного контролю за наявністю та якістю мастила чи гідравлічної рідини. СРТП має високу надійність під час роботи в екстремальних умовах при цьому в 2 рази менше за масою та габаритами ніж поршневі пневмогідропривід.

СРТ містить ротор, виконаний у вигляді валу з двома ізольованими один від одного осьовими каналами з торцевими входами з кожного боку валу. Вал встановлений в опорах кочення та має провідну шестерню. Робоче колесо турбіни являє собою втулку з двома радіальними протилежно розташованими отворами, в яких закріплені консольно вигнуті трубки-плечі з тяговими надзвучковими соплами, на їх кінцях (рисунок 1). Трубки-плечі вигнуті таким чином, що з метою можливості реверсування СРТ тягові сопла зорієнтовані в один бік та їх осі перпендикулярні до осі валу. Тягові сопла за допомогою порожнин у трубках-плечах, відповідних осьовим каналам, з'єднані з торцевими входами осьових каналів з утворенням двох безперервних газових трактів.

В роботі проведено чисельне моделювання у програмному комплексі ANSYS течії газу у проточній частині струминно-реактивної реверсивної турбіни для вивчення впливу геометрії проточної частини на характеристики СРТ. Отримати характеристики СРТ (без втрат енергії на тертя в опорах) можливо моделюванням чисельним методом в програмному комплексі

ANSYS у повній постановці з врахуванням аеродинамічного опору робочих коліс та витоку газу з проточної частини.

В роботі за допомогою програмного комплексу ANSYS проведено дослідження впливу наявності та розмірів корпусу, в якому обертається ротор з робочим колесом у вигляді трубок, на характеристики СРТ (рисунок 1).

В якості основних характеристик СРТ використовували залежності обертового моменту на валу ротора від частоти обертання ротора при сталому вхідному та вихідному тиску.

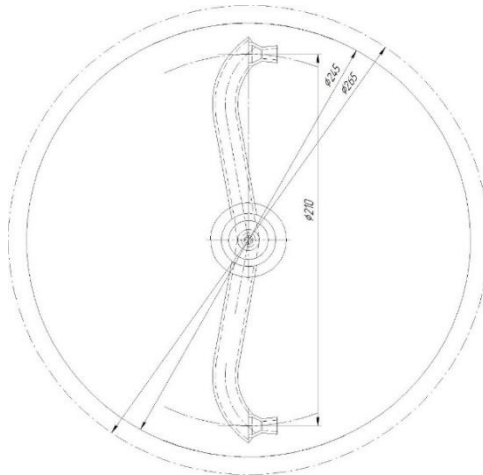


Рисунок 1 – Конструктивна схема струминно-реактивної турбіни у реверсивному виконанні

В результаті досліджень встановлено, що при тиску на вході 26 бар та тиску на виході 1 бар при відсутності корпусу (течія у відкрите середовище) обертовий момент на валу становить 1,25 Н·м при частоті обертання ротора 15000 об/хв. При наявності корпусу внутрішнім діаметром 265 мм обертовий момент на валу становить 0,5 Н·м при частоті обертання ротора 15000 об/хв. При зменшенні внутрішнього діаметру корпусу на 20 мм (рисунок 1) обертовий момент зменшується до 0,3 Н·м. З результатів досліджень видно, що аеродинамічний опір при обертанні ротора в корпусі більший внаслідок впливу вихідної течії з тягового сопла.

В результаті досліджень отримано залежності обертових моментів від частоти обертання ротора при сталому вхідному та вихідному тиску в залежності від наявності корпусу та його внутрішнього діаметру. Також було встановлено вплив внутрішнього діаметру корпусу на обертовий момент в залежності від тиску на вході при частоті обертання ротору від 0 до 20000 об/хв.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАЗОРІВ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ВИХРОВОГО КОМПРЕСОРА НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS CFX

*Сітало В. С., аспірант; Вансєв С. М., канд. техн. наук, доцент,
кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

Ефективне використання енергії є одним із ключових викликів сучасності. Зростання енергоспоживання та обмеженість ресурсів змушують шукати нові способи підвищення ефективності обладнання, що використовується в енергетичних системах. Компресори є невід'ємною частиною майже всіх промислових і побутових застосувань. Вони споживають величезну частку виробленої енергії, тому будь-яке підвищення їхньої ефективності призведе до значної її економії. Однак проектування і виробництво ефективного компресора є трудомістким і дорогим процесом.

Вихровий компресор має складну структуру потоку, яка відповідає регенеративній гіпотезі, що передбачає багаторазове перенесення енергії в межах робочого середовища завдяки циркуляційним рухам. Через це стандартні методи розрахунку, що застосовуються для відцентрових та осьових компресорів, виявляються непридатними для коректного аналізу робочого процесу у вихровому компресорі.

Саме тому для вирішення проблеми оцінки впливу різних геометричних та експлуатаційних параметрів компресора на його ефективність використовується програмний комплекс Ansys CFX, який дозволяє здійснювати чисельне моделювання складного внутрішнього потоку. Це дає змогу аналізувати вплив ключових конструктивних змін, таких як форма та розміри кільцевого каналу, конфігурація та кількість лопатей, а також досліджувати взаємозв'язок між геометрією компресора та його робочими характеристиками.

Обчислювальна гідродинаміка (CFD) надає широкий спектр переваг для аналізу та оптимізації вихрових компресорів. Вона дозволяє отримати глибоке розуміння робочих процесів, зокрема деталізований розподіл швидкостей, тиску та температури у внутрішньому потоці, що є критично важливим для оцінки ефективності компресора. Завдяки чисельному моделюванню можна оптимізувати геометрію без необхідності створення фізичних прототипів, що значно зменшує фінансові та часові витрати. CFD дозволяє досліджувати вплив експлуатаційних параметрів, таких як швидкість обертання, зміна тиску і температури на вході, а також поведінку компресора при різних типах робочих середовищ. Це також ефективний інструмент для виявлення втрат та нерівномірності потоку, які призводять до зниження ефективності компресора.

CFD також дає змогу проводити верифікацію розрахунків шляхом порівняння результатів чисельного моделювання з експериментальними

даними, що дозволяє підвищити достовірність отриманих висновків. Важливою перевагою є значне скорочення часу на розробку та тестування, оскільки чисельний аналіз дає змогу швидко протестувати десятки варіантів конструкції та визначити найбільш ефективні рішення ще на етапі проектування. У результаті CFD дозволяє не лише підвищити продуктивність і ефективність вихрового компресора, а й мінімізувати ризики помилок у реальних експлуатаційних умовах.

Мета даного дослідження полягає у створенні розрахункової моделі вихрового компресора в програмному комплексі Ansys CFX та оцінці впливу величини зазору між робочим колесом та елементами статорної частини компресора на його продуктивність.

На першому етапі дослідження було проведено моделювання без урахування течії газу в торцевому та радіальному зазорах між робочим колесом і корпусом компресора. Це дозволило отримати базові розрахункові характеристики та оцінити основні параметри потоку. На наступному етапі було розглянуто вплив радіального та торцевого зазору, що дозволило визначити їхній внесок у загальну продуктивність компресора.

Отримані результати порівнювалися з характеристикою компресора, розрахованою за раніше випробуваною методикою. Аналіз показав, що зазори між робочим колесом і корпусом мають суттєвий вплив на робочі параметри компресора, зокрема на продуктивність та ефективність стиснення. Як видно з графіка (рис.1), нехтування цими зазорами може призводити до значних розбіжностей між розрахунковими та реальними характеристиками компресора, які можуть досягати 50%. Тому їх необхідно враховувати під час моделювання та розрахунку для отримання коректних результатів і підвищення точності прогнозування роботи компресора.

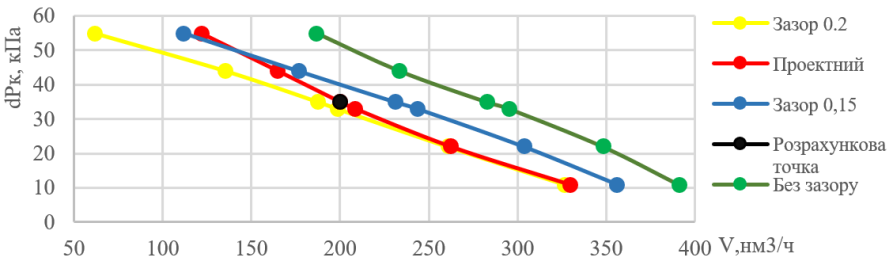


Рисунок 1 – Характеристика компресора при різних зазорах проточної частини

Отже CFD-дослідження за допомогою Ansys CFX дає можливість отримати детальну інформацію про робочі процеси вихрового компресора, оптимізувати його конструкцію, оцінити вплив експлуатаційних параметрів та мінімізувати витрати на створення прототипів. Це ефективний інструмент, який дозволяє значно покращити характеристики компресора ще до його фізичного виготовлення.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ КАНАЛЬНОГО ТИПУ

Мелейчук О. С., аспірант; Вансєв С. М., канд. техн. наук, доцент, кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми

Створення енергоефективних енергетичних комплексів для децентралізації енергопостачання є ключовим завданням для підвищення національної безпеки в Україні [1]. Потенційним рішенням в децентралізації енергосистеми та забезпечення малих та середніх споживачів є використання турбінних установок потужністю до 500 кВт. Інноваційним та одним з перспективних напрямків є використання турбінного обладнання на основі вихрових та струминно-реактивних турбін (СРТ). Цей тип турбін знайшов застосування в енергетиці, зокрема в турбогенераторах які використовують енергію стиснутих газів. Приклади таких турбогенераторів наведено в роботах [2, 3], які демонструють простоту їх конструкції та здатні забезпечити електроенергією промислових споживачів.

Експериментальні дослідження, хоча і мають ряд недоліків, проте вони верифікують теоретичні моделі розрахунку чи комп'ютерне моделювання та не залежать від теоретичних моделей із потенційними похибками. Тому доцільно проводити чисельне моделювання для дослідження внутрішніх процесів турбін та їх подальшої оптимізації.

Метою роботи є порівняння чисельних та експериментальних параметрів СРТ каналного типу. Основними завданнями є створення дослідного зразка парового турбогенераторного агрегату (ПТГА) на базі СРТ, проведення експериментальних досліджень та порівняння отриманих результатів випробувань із результатами чисельних досліджень виконаних в програмному комплексі ANSYS CFX.

На базі ТОВ “УКРНАФТОЗАПЧАСТИНА” (м. Суми) було розроблено та виготовлено паровий турбогенераторний агрегат ПТГА-СРТ-475-24/0,5 та дослідно-промисловий експериментальний стенд. Цей стенд було змонтовано та проведені експериментальні дослідження бази ПАТ "СУМИХІМПРОМ" (м. Суми). Агрегат ПТГА-СРТ-475-24/0,5 за конструктивним виконанням складається з двох паралельно встановлених СРТ потужністю по 250 кВт, які працюють на один генератор потужністю 475 кВт (400 В, 50 Гц) через одноступінчастий зубчастий редуктор.

Випробування проводилися відповідно до розробленої програми та методики попередніх випробувань та за результатами котрих були отримані наступні дані: надлишковий тиск пари на вході в СРТ: 1,8224 МПа; температура пари на вході в СРТ: 275,5 °С; надлишковий тиск пари на виході з СРТ: 0 Па; температура пари на виході: 146,4 °С; електрична потужність: 404 кВт; масові витрати пари: 7,577 т/год.

Також в даній роботі були проведені чисельне дослідження проточної частини СРТ в програмному комплексі ANSYS CFX. Тривимірні моделі розрахункової області досліджуваного зразка являє собою внутрішній об'єм проточної частини СРТ і зображена на рисунку 1.

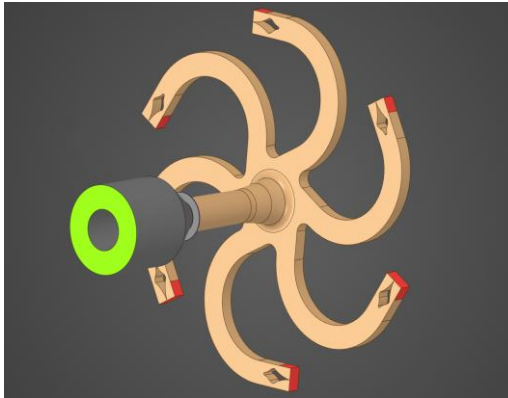


Рисунок 1 – Геометрія розрахункової зони

Виготовлення стенда та проведення експериментальних випробувань дозволили отримати надійні дані про реальні робочі характеристики агрегату, котрі відповідають заданим проектно-розрахунковим показникам, що стало важливим етапом у верифікації чисельного моделювання та оцінці ефективності конструкції.

Також проведено порівняльний аналіз експериментальних та чисельних досліджень струминно-реактивної турбіни каналного типу, котрий показав що розбіжність визначення потужності та моменту на валу струминно-реактивної турбіни між дослідженнями не перевищувала 0,7%, розбіжність визначення масової витрати пари на вході в турбіну не перевищувала 1,32%. Загалом, проведені експериментальних досліджень підтвердили правильність теоретичних розрахунків і чисельного моделювання, засвідчивши високу точність прогнозованих параметрів роботи агрегату.

Список літератури

1. Miroshnychenko, D.V. Energy Efficiency Upgrading of Pneumatic Units Created on the Basis of Vortex Expansion Machines. Ph.D. Thesis, 2014. Sumy State University, Sumy, Ukraine.
2. Kulikov A., Miroshnichenko D. V., Bilyk Ya. I., Smolenko D. V., Lazarenko A. D. Investigation of a Turbogenerator Based on the Vortex Expansion Machine with a Peripheral Side Channel dynamometer // JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES. – 2021 - Volume 8, Issue 12 (2021) - pp. F 11–F 18.
3. Vanyeyev, S. Jet-Reactive Turbine: Experimental Researches and Calculations by Means of Softwares / S. Vanyeyev, V. Getalo // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Volume 630. – P. 66-71.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ В УКРАЇНІ

Лавриненко А. О., студент, Сумський фаховий коледж будівництва та архітектури, м. Суми; Бага Т. С., асистент, Бага В. М., доцент, кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми

Моделювання енергосистем є критично важливим для України, оскільки країна переживає масштабні трансформації у сфері енергетики, зумовлені геополітичними викликами, необхідністю декарбонізації та інтеграцією до європейської енергосистеми.

Основні аспекти важливості моделювання:

Енергетична безпека та незалежність

Україна активно працює над зменшенням залежності від імпорту енергоносіїв. Моделювання допомагає прогнозувати оптимальні шляхи розвитку власної генерації, зокрема відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Аналіз енергетичних сценаріїв дозволяє визначити критичні точки вразливості та підготувати стратегії зниження ризиків.

Інтеграція до європейської енергосистеми ENTSO-E

Після синхронізації з європейською мережею у 2022 році Україна отримала можливість експортувати та імпортувати електроенергію.

Моделювання допомагає оцінити балансування системи, оптимізувати імпортно-експортні потоки та відповідати європейським стандартам стабільності мережі.

Розвиток відновлюваної енергетики

Сонячна, вітрова та гідроенергетика відіграють дедалі більшу роль в енергобалансі України. Однак їхня нестабільність потребує точного прогнозування та інтеграції накопичувачів енергії.

Використання програмних комплексів (наприклад, PLEXOS, EnergyPLAN, PyPSA) дозволяє моделювати роботу ВДЕ та їх вплив на енергосистему.

Оптимізація роботи енергомереж та розподіленої генерації

Внаслідок військових атак на енергетичну інфраструктуру виникла необхідність адаптивного моделювання розподілених мікромереж.

Розвиток локальних рішень, таких як мікромережі та системи накопичення енергії, підвищує стійкість енергосистеми.

Зменшення втрат та підвищення ефективності

Використання цифрових двійників та інтелектуального керування мережею допомагає оптимізувати споживання енергії та зменшити втрати.

Таким чином, моделювання сучасних енергосистем відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки, сталого розвитку та інтеграції України до європейських та світових енергетичних ринків. Використання сучасних аналітичних підходів та програмного забезпечення дозволить країні ефективно реагувати на виклики та будувати енергетику майбутнього.

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СОПЕЛ ІЗ РІЗНИМИ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Салімов Є. О., студент гр. К.м-41; Садовський І. Д., студент гр. К.м-41;
Бага В. М., доцент кафедри технічної теплофізики, Сумський державний
університет, м. Суми*

Соплові апарати є ключовими елементами в конструкції турбомашин, які виконують функцію спрямування потоку робочого тіла та керування його швидкістю й напрямком руху. Вони відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності роботи газових і парових турбін, компресорів, реактивних двигунів та інших енергетичних установок.

Основна функція соплових апаратів полягає в тому, щоб формувати потік газу або пари таким чином, щоб він забезпечував оптимальне перетворення енергії. Це досягається завдяки зміні тиску та швидкості потоку, що дозволяє отримати необхідний рівень кінетичної енергії перед подальшим використанням у робочих колесах турбіни чи інших елементах системи. Соплові апарати можуть мати різну конструкцію, залежно від типу турбомашини та умов її експлуатації. Вони можуть бути нерухомими або регульованими, що дозволяє змінювати параметри потоку в залежності від режиму роботи агрегату. Крім того, у реактивних двигунах сопла виконують важливу роль у створенні тяги, забезпечуючи розширення газового потоку.

Завдяки вдосконаленню конструкції соплових апаратів, сучасні турбомашини досягають більшої продуктивності, економічності та екологічності, що є важливим фактором у розвитку енергетики, авіації та космічних технологій.

У роботі проведено всебічний аналіз робочого процесу всередині сопла з використанням методів чисельного моделювання та експериментальних досліджень. Досліджено вплив геометричних параметрів на основні робочі характеристики соплових апаратів. Зокрема, встановлено, що збільшення діаметра сопла спричиняє непропорційне зростання витрати робочого середовища, що може впливати на ефективність роботи турбомашини. Розроблено комплексні практичні рекомендації щодо оптимального проектування робочих сопел, спрямовані на підвищення їхньої ефективності та покращення експлуатаційних характеристик. Визначено оптимальні геометричні параметри, які забезпечують найефективніше перетворення енергії, мінімізують втрати, покращують аеродинамічні властивості соплових апаратів.

Проведений аналіз дозволив встановити залежність між формою сопла, його діаметром, довжиною та кутом розширення, що дозволяє раціонально підходити до його конструювання залежно від конкретних умов експлуатації

Основні результати одержані у рамках виконання НДР «Розробка мобільно ежекторно-очисної установки для відновлення будівель, споруд та техніки після пожеж у військовий період» (ДР № 0124U000636; договір № 51.15.01-24/26.3П-01)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТІВ ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ В СИСТЕМАХ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

Баран С. В., студ. гр. ХК.мз-41с; Стебельська У. Ю., студ. гр. ХК.мз-41с; Мелейчук С. С, доцент кафедри технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми; Баран В. В., викладач, Дрогобицький фаховий коледж нафти і газу, м. Дрогобич

Технологічний процес компримування газів на компресорних станціях супроводжується значним підвищенням температури через термодинамічне нагрівання та дисипативні процеси. Відведення цього тепла в цілому сприяє підвищенню ефективності процесу стиснення, підвищенню коефіцієнта корисної дії установки та утилізації зайвого тепла.

Різні схемні рішення охолодження робочого середовища передбачають застосування міжступеневих або міжсекційних апаратів, в яких тепло відводиться у довкілля. Утилізація тепла відбувається у теплообмінних апаратах – апаратах повітряного охолодження (АПО).

АПО мають ряд переваг у порівнянні з іншими типами теплообмінників. В першу чергу – широка доступність атмосферного повітря та відсутність необхідності використання систем оборотного водопостачання. По-друге, економічність, відносна простота конструкції та простота обслуговування. Відсутність проблем, викликаних необхідністю боротьби з корозією та накипом при використанні охолоджуваної води. По-третє, робота АПО можлива в широкому діапазоні температур довкілля, як в умовах теплого так і холодного клімату, хоча в умовах екстремального тепла ефективне використання АПО особливо в денні години доволі ускладнюється. Одним з найважливіших переваг використання АПО є гнучкість та менша вартість проведення монтажних робіт, що дозволяє адаптуватись в широкому діапазоні інфраструктурних умов роботи компресорної станції.

Для підвищення ефективності теплообмінних апаратів в контексті збільшення коефіцієнту тепловіддачі тепла в довкілля в АПО використовуються біметалічні орієнтовані труби (внутрішня труба сталеві, зовнішня – алюмінієва з накатними ребрами) довжиною від 4 до 12м, які розташовуються у вигляді теплообмінних секцій від чотирьох до восьми рядів труб в кожній. Секції розташовуються вертикально, горизонтально чи під кутом нахилу, що й визначає тип апарату. Для підвищення ефективності апарату широко застосовують турбулізатори повітряного потоку, що сприяють інтенсифікації теплообміну.

Важливим елементом АПО, що забезпечує ефективну роботу апарату в широкому діапазоні температур є вентилятор. Як правило, використовується осьовий вентилятор з дифузorzом, регулюванням частоти обертів і можливістю зміни нахилу лопатей. Також передбачається наявність байпасної лінії, що забезпечує перепускання частини технологічного потоку повітря, підігрів повітря в зимовий або зволоження у літній період роботи.

СТРУМИННО-РЕАКТИВНА РОЗШИРЮВАЛЬНА МАШИНА ДЛЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЙ

*Ванєєв С. М., зав. каф. ТТФ; Герзанич М. М., студент гр. К.м-31;
Дмитрієв В. О., студент гр. К.м-41; Заклунний Б. А., студент гр. К.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Застосування турбогенераторних установок, в яких відбувається утилізація енергії стиснутого газу, дозволяє: по-перше, заощадити органічне паливо, по-друге, ці установки відносяться до екологічно чистого обладнання, яке створюється за принципом «безпаливних» технологій, що підтримується Кіотським протоколом у конвенції ООН щодо зміни клімату і відповідає цілям сталого розвитку. Таким чином, виробництво механічної енергії на вузлах редукування газів і парів, яка може бути використана безпосередньо або перетворена, наприклад, в електроенергію – це енергозберігаюча та екологічно чиста технологія.

Турбогенераторні утилізуючі установки на базі класичних лопаткових турбін (осьових, доцентрових і часто багатоступінчастих) перетворюють газорозподільні станції (ГРС) на складний енергетичний об'єкт, що вимагає постійної присутності кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Тому їх доцільно використовувати, коли можна отримати корисну потужність більше 1 МВт. Для інших ГРС, яких переважна більшість, утилізуючі турбогенераторні установки та аварійні турбогенератори доцільно створювати на базі струминно-реактивних розширювальних машин (СРРМ). Ці машини прості за конструкцією і можуть бути освоєні малими підприємствами. Їх вартість приблизно на порядок менша від вартості класичних лопаткових турбін.

Переваги СРРМ дозволяють створити турбодетандерні установки максимально прості та надійні, з терміном окупності 1-2 роки.

Виконані дослідження струминно-реактивної розширювальної машини (СРРМ) для турбогенератора потужністю 30 кВт при тиску газу на вході СРРМ 2,6 МПа, тиску газу на виході СРРМ 0,4 МПа, температурі газу на вході СРРМ 288 К.

Отримані параметри і характеристики струминно-реактивної розширювальної машини у вигляді залежностей моменту, потужності і ККД на валу машини від частоти обертання ротора. Встановлено, що

- момент на валу СРРМ зменшується в залежності від частоти обертання ротора практично лінійно;

- максимальні значення потужності та ККД на валу машини відповідають частоті обертання ротора 2500 об/хв (максимальне значення потужності складає 38 кВт, а ККД - 0,376);

- при електричній потужності турбогенератора 30 кВт потужність на валу струминно-реактивної розширювальної машини складає 33,3 кВт і відповідає частоті обертання ротора 18000 об/хв.

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧОГО ТІЛА НА ПАРМЕТРИ ВИХРОВОГО КОМПРЕСОРА

*Ванесєв С. М., заф. каф. ТТФ; Германюк В. О., студент гр. К.м-41;
Євтушенко С. І., студент гр. К.м-41, Сумський державний
університет, м. Суми*

Вихрові компресори за принципом перетворення енергії відносяться до машин динамічного принципу дії.

Були досліджені вихрові компресори на наступні вихідні дані.

Температура газу на всмоктуванні - 293 К.

Частота обертання ротора компресора - 2950 об/хв.

1) Робоче середовище – аміак; показник адіабати - $k=1,31$; - питома газова стала – 488 Дж/(кг·К); тиск газу на всмоктуванні - 600 кПа; тиск газу на нагнітанні - 625 кПа; продуктивність, віднесена до нормальних умов – 300 $\text{нм}^3/\text{год}$.

2) Робоче середовище – синтез-газ; показник адіабати - $k=1,41$; питома газова стала – 976 Дж/(кг·К); тиск газу на всмоктуванні – 1800 кПа; тиск газу на нагнітанні - 1830 кПа; продуктивність, віднесена до нормальних умов - 600 $\text{нм}^3/\text{год}$.

3) Робоче середовище – водневмісний газ; показник адіабати - $k=1,348$; питома газова стала – 1344 Дж/(кг·К); тиск газу на всмоктуванні - 1800 кПа; тиск газу на нагнітанні - 1820 кПа; продуктивність, віднесена до нормальних умов - 600 $\text{нм}^3/\text{год}$.

В результаті досліджень встановлено, що

- при суттєво різних витратах робочого тіла і тиску на вході в компресор для аміаку ($V_n=300 \text{ м}^3/\text{год}$, $P_{вс}=600 \text{ кПа}$) і для синтез-газу ($V_n=600 \text{ м}^3/\text{год}$, $P_{вс}=1800 \text{ кПа}$) зовнішні діаметри робочих коліс ($D_2=352 \text{ мм}$ і 314 мм відповідно), а також розміри меридіонального перерізу проточної частини (ширина і висота робочого каналу, ширина і висота лопатки робочого колеса тощо) вийшли досить близькими (відмінність у розмірах не більше 12%).

- для аміаку ($V_n=300 \text{ м}^3/\text{год}$, $P_{вс}=600 \text{ кПа}$) і для водневмісного газу ($V_n=600 \text{ м}^3/\text{год}$, $P_{вс}=1800 \text{ кПа}$) зовнішні діаметри робочих коліс ($D_2=352 \text{ мм}$ і 304 мм відповідно) відрізняються на 16 %;

- основні геометричні параметри компресорів для синтез-газу і водневмісного газу відрізняються не більше, ніж на 4%;

- різниця тисків на вході і виході компресора складає: для аміаку – 25 кПа, для синтез-газу - 30 кПа, для водневмісного газу - 20 кПа;

- значення адіабатного ККД знаходяться в діапазоні 0,50-0,54%;

- споживана потужність при роботі компресора на аміаку складає 700 Вт, при роботі на водневмісному газі - 370 Вт, тобто для аміаку споживана потужність майже в два рази більше; при роботі компресора на синтез-газі споживана потужність складає 555 Вт.

СУЧАСНИЙ ДОСВІД МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Бойко А. Д., студент групи 110-і, ВСП «Машинобудівний фаховий коледж Сумського державного університету», м. Суми; Бага Т. С., асистент кафедри технічної теплофізики; Мірошніченко О. І., аспірантка, Сумський державний університет, м. Суми

Сучасний досвід моделювання енергосистем охоплює широкий спектр методів, технологій та підходів, спрямованих на оптимізацію виробництва, розподілу та споживання енергії. Основні тенденції в цій сфері включають:

Інтеграцію відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – сучасні моделі враховують високу частку сонячної та вітрової енергетики, що створює виклики для стабільності енергосистем.

- Цифрові двійники – використання цифрових копій реальних енергетичних об'єктів дозволяє тестувати сценарії та прогнозувати зміни в енергомережі.
- Моделювання розподіленої генерації та мікромереж – локальні енергосистеми з інтегрованими ВДЕ, батареями та розумними мережами оптимізують енергопостачання на рівні окремих регіонів чи підприємств.
- Алгоритми штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання – застосовуються для аналізу споживання, прогнозування навантажень та автоматичного керування мережею.
- Енергетичні моделі на основі багатофакторного аналізу – включають економічні, екологічні та технічні параметри для забезпечення збалансованого розвитку енергетики.
- Сценарний аналіз та стратегії декарбонізації – сучасні моделі допомагають прогнозувати вплив перетворень у секторі енергетики на довкілля та економіку.

Моделювання енергосистем відіграє ключову роль у їхньому плануванні, оптимізації та інтеграції нових технологій. Сучасні програмні платформи, такі як PLEXOS, EnergyPLAN, PyPSA та GridLab-D, широко застосовуються для аналізу, прогнозування та оптимізації енергетичних процесів.

PLEXOS – стратегічне та оперативне моделювання енергосистем, аналіз ринків електроенергії, оптимізація генерації та розподілу енергії.

EnergyPLAN – моделювання енергосистем, оцінка сценаріїв декарбонізації, інтеграція ВДЕ, електромобілів та систем накопичення.

PyPSA – аналіз і оптимізація електромереж, дослідження стійкості та інтеграції ВДЕ, відкритий код для гнучкої адаптації.

GridLab-D – моделювання розподільчих мереж, аналіз споживання електроенергії, дослідження впливу ВДЕ, електромобілів та батарей на мережу.

Використання сучасних програмних платформ дозволяє ефективно аналізувати, прогнозувати та оптимізувати роботу енергосистем. Кожен із цих інструментів має свої переваги та сфери застосування, допомагаючи розв'язувати актуальні завдання у сфері енергетики.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РІДИННО-ПАРОВИХ СТРУМИННИХ АПАРАТАХ

*Чех О. Ю., аспірант; Мерзляков Ю. С., доцент, кафедра технічної
теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

У сучасному енергомашинобудуванні значна увага приділяється економії енергоресурсів у робочих процесах енергетичних машин. Одним з перспективних напрямків є використання струминних апаратів, які дозволяють передавати енергію активного потоку до пасивного шляхом їхнього безпосереднього змішування. Переваги цих апаратів включають відсутність механічних рухомих частин, незначне зношення, простоту конструкції та легкість обслуговування. Особливий інтерес викликають процеси пароутворення в цих апаратах, оскільки їх оптимізація може призвести до зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності або ККД системи в цілому.

Метою дослідження є моделювання процесів пароутворення робочих речовин у рідинно-парових струминних апаратах. Для досягнення цієї мети необхідно розробити математичні та уточнити фізичні моделі, які описують динаміку пароутворення в рідинно-парових струминних апаратах та вплив пароутворення на загальну продуктивність системи. Моделі мають враховувати різні параметри, такі як тиск, температура, масова витрата, швидкість активного і пасивного потоків, коефіцієнт інжекції, об'ємний паровміст, ступінь перевиробництва пари, недогрів та коефіцієнт швидкості сопла, що дозволить прогнозувати поведінку системи в різних умовах експлуатації при використанні різних робочих речовин (холодильних агентів) та при різній геометрії проточної частини.

Для моделювання цих процесів широко застосовуються сучасні програмні комплекси, такі як ANSYS CFX/Fluent для аналізу теплообміну та гідродинаміки в рідинно-парових струминних апаратах, COMSOL Multiphysics, що дозволяє моделювати взаємодію фізичних процесів, включаючи теплообмін і фазові переходи, та відкрита платформа OpenFOAM, яка надає гнучкість у налаштуванні моделей для конкретних умов.

Отже, оптимізація режимних та геометричних параметрів, які впливають на фізичні процеси в струминних апаратах може суттєво підвищити ефективність та знизити експлуатаційні витрати енергетичних систем. Дослідження конкретних умов, за яких відбувається пароутворення, надасть якісні дані для розробки нових конструкцій і розширенню діапазону роботи рідинно-парових струминних апаратів. Загалом фізичні процеси взаємодії різних фаз робочих речовин у струминних апаратах демонструють потенціал для подальших досліджень та активного впровадження в різних галузях промисловості, включаючи енергетику, металургію, хімічну промисловість та виробництво.

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ СТРУМИННИХ ЕЖЕКТОРІВ НА РОБОЧИЙ ПРОЦЕС У ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИХ УСТАНОВКАХ

Карпцов А. С., аспірант групи А-35/МБ; Мерзляков Ю. С., доцент, кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми

Ежекторні технології відіграють ключову роль у підвищенні ефективності транскритичних холодильних систем на діоксиді вуглецю (CO₂). Використання ежекторів дозволяє оптимізувати робочі процеси, знижуючи навантаження на компресори та підвищуючи енергоефективність систем. Проте наявні конструкції мають певні недоліки, що зменшують їхню ефективність і потребують подальшого вдосконалення.

Зокрема, компанія Danfoss розробляє та впроваджує різні конструкції ежекторів для використання у транскритичних холодильних системах на CO₂. Однак існуючі конструкції мають низку недоліків, зокрема: нерівномірність розподілу потоку у камері змішування, що призводить до втрат тиску та зменшення ефективності; обмежена ефективність при змінних режимах роботи, що пов'язано з необхідністю адаптації конструкції до широкого діапазону експлуатаційних умов; втрати кінетичної енергії на виході з сопла, що знижує ефективність процесу ежекції.

Майбутні дослідження будуть спрямовані на модифікацію конструкції струминного ежектора з метою підвищення його ефективності у тепловикористовуючих установках. Це передбачає комплексний підхід до вдосконалення ключових елементів конструкції, зокрема, розробку нових геометричних рішень для сопла та камери змішування, що сприятимуть зменшенню втрат енергії та підвищенню стабільності потоку.

Заплановано аналіз конструкції існуючих ежекторів та їх недоліків за допомогою CFD-моделювання (Ansys CFX), оптимізацію форми камери змішування для покращення стабільності потоку та зменшення втрат енергії, дослідження можливості регулювання геометрії сопла, що дозволить підлаштовувати роботу ежектора під змінні умови експлуатації, а також експериментальну перевірку удосконаленої конструкції, розрахунок ефективності та оцінку можливостей впровадження у промислові холодильні системи. [1]

Таким чином, удосконалення конструкції ежектора на основі аналізу його недоліків дозволить покращити ефективність транскритичних холодильних установок на CO₂, зменшити енергоспоживання та підвищити надійність системи. [2]

Список літератури

1. Danfoss. Ejector Technology for Transcritical CO₂ Refrigeration Systems. Technical Report, 2022.
2. Smith, J., & Brown, P. Advances in Ejector Design for Refrigeration Applications. International Journal of Refrigeration, 2021.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В РІДИННО-ПАРОВОМУ СТРУМИННОМУ АПАРАТІ ВИХРОВОГО ТИПУ

Мерзляков Ю. С., доцент кафедри технічної теплофізики; Тютюнник К. В., студ. гр. К.м-41; Назаренко М. В., студ. гр. К.м-41, Сумський державний університет, м.Суми

Дослідження процесів, що відбуваються у робочих порожнинах рідинно-парового струминного апарата вихрового типу, вимагає створення спеціальної експериментальної установки, з урахуванням особливостей робочого процесу. У лабораторії кафедри технічної теплофізики сконструйована експериментальна установка для досліджень рідинно-парового струминного апарата вихрового типу, що працює на скипаючій рідині.

Експериментальна установка для дослідження рідинно-парового струминного апарата (РПСА) вихрового типу складається з вихрового апарату, щільного дифузора, гріючої ємності для підготовки робочої рідини, що подається до сопел активного потоку, гріючої ємності для підготовки пари пасивного потоку, додаткових комунікацій, трубопроводів, запірної та регулюючої арматури.

Вхід робочої рідини до вихрової камери рідинно-парового струминного апарата вихрового типу відбувається через два сопла активного потоку і тангенціально закручується [1]. Наявність двох сопел активного потоку забезпечує симетричність течії вихрового потоку по всій довжині вихрової камери [2]. Перед входом до РПСА встановлені вентиля для регулювання витрати робочої рідини через робочі сопла активного потоку. Вхід пасивного потоку до рідинно-парового струминного апарата вихрового типу розташований коаксіально вихровій камері, причому довжина патрубку пасивного потоку може регулюватися по довжині вихрової камери.

На виході з РПСА вихрового типу змішаний потік надходить до щільного дифузору з регульованою шириною щілини, де підвищується його тиск, що вимірюється манометром. Після щільного дифузора потік потрапляє до приймальної камери, після чого потрапляє до сепаратора, де розділяється на парову та рідку фази. Парова фаза скидається у навколишнє середовище, а рідка фаза направляється до ємності, після чого насосом перекачується до гріючої ємності або до теплообмінника типу «труба в трубі».

Список літератури

1. Merzliakov I., Pavlenko I., Chekh O., Sharapov S., Ivanov I. *Mathematical Modeling of Operating Process and Technological Features for Designing the Vortex Type Liquid-Vapor Jet Apparatus. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2020.
2. Merzliakov I., Pavlenko I., Ochowiak M., Ivanov V., Agarwal P. *Flow Modeling in a Vortex Chamber of a Liquid-Steam Jet Apparatus. Processes*, 2022.

ВИБІР РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ РІДИННО-ПАРОВИХ СТРУМИННИХ АПАРАТІВ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ТТФ;
Вербицький А. Р., аспірант; Щербак Я. В., студент,
Сумський державний університет, м. Суми*

В умовах російсько-Української війни та постійних атак ворога на об'єкти критичної інфраструктури, необхідно шукати шляхи подолання дефіциту тепло- та електропостачання. Переважна більшість існуючих тепло- та електрогенеруючих установок є централізованими та мають завищену встановлену потужність. Основним завданням Стратегії розвитку розподіленої генерації енергії в Україні є децентралізація постачальників тепла та електроенергії, побудова установок малої потужності в окремих кварталах та, навіть, в окремих будинках. Одним зі шляхів забезпечення стійкості енергосистеми може бути когенерація видів енергії в установках малої потужності, що дасть можливість не припиняти постачання тепла та електроенергії під час атак на ті чи інші об'єкти.

Практика європейських країн свідчить, що найбільш перспективним напрямком в сфері розподіленої теплогенерації є використання теплонасосних установок. Провідні європейські виробники як робоче середовище використовують традиційні фреони. Ефективність цих теплових насосів, передусім, залежить від характеристик теплових джерел, що беруть участь у термотрансформації. Автори пропонують застосовувати воду як дешеву та доступну альтернативу фреонам.

На сучасному етапі поширеною є теплонасосна технологія, завдяки якій можна отримувати теплову енергію для опалення житлових будинків. В житлово-комунальних господарствах багатьох країн світу використовують пароконденсійні теплові насоси, як альтернативу централізованим теплоелектростанціям та котельним установкам. Однак вони мають суттєві недоліки: низька ефективність пароструминних апаратів, на базі яких вони створені, та постійно зростаючі вимоги до холодильних агентів, які є робочими середовищами в цих теплових насосах.

Саме тому автори пропонують замінити пароструминні апарати на рідинно-парові, ефективність яких є вищою на 20-25 %. Підвищення ефективності досягається за рахунок внутрішньої генерації пари, яка є робочим струменем активного потоку в рідинно-парових струминних апаратах. Це є принципом струминної термокомпресії. Автори пропонують внести зміну в конструкцію існуючої теплонасосної установки шляхом заміни пароструминного апарату на рідинно-паровий, і додати модуль електрогенерації, що дозволить реалізувати принцип тригенерації. Пропонований підхід дозволить генерувати не тільки теплову енергію для потреб опалення та гарячого водопостачання, а й електроенергію для живлення споживачів.

ТЕПЛОНАСОСНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМ
ТЕПЛО- ТА ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНДИВІДУАЛЬНИХ СПОЖИВАЧІВ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ТТФ;
Вербицький, А. Р., аспірант; Щипенко О. О., студент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Вдосконалення, модернізація та відновлення критичної інфраструктури України та нагальна потреба в оновленні застарілого низькоефективного обладнання систем опалення і електропостачання є однією з актуальних проблем, що сьогодні постає перед нашою державою, і одним з головних напрямів науково-технічного прогресу в техніці та технологіях ефективної генерації теплової енергії для потреб промислових та комунальних об'єктів на сучасному етапі.

Перспективним напрямком цього дослідження є створення високоефективних теплоелектрогенеруючих агрегатів на базі рідинно-парових струминних апаратів для систем опалення та електропостачання. Пропонований агрегат докорінно відрізняється від традиційних установок на базі пароструминних ежекторів, які є застарілими та неефективними. Ще однією перевагою пропонованих агрегатів є використання екологічно безпечного робочого середовища (води) в якості холодильного агенту замість традиційних фреонів.

В результаті проведеного дослідження автори пропонують впровадження принципово нового класу теплоелектрогенеруючих агрегатів на базі рідинно-парових струминних апаратів. Задіявши тепловий насос, що працює на джерелах природної теплоти (атмосферне повітря, природні води), ми ніби умовно забезпечили системи тепlopостачання ресурсом на 15–20 років її роботи. Наприклад, застосування пропонованої установки для опалення приміщення площею 45 м² дає змогу зменшити загальну вартість палива в середньому на \$123,09 на рік, і зменшити питому вартість одиниці теплоти в середньому на 15,5 % без урахування витрат на холодоагент у традиційних схемах. Оскільки в якості робочого середовища в пропонованій схемі використовується вода замість холодильних агентів, то сумарна економія буде ще більша.

Застосування таких агрегатів дасть змогу створити розгалужену систему міні-ТЕЦ, що в умовах воєнного стану будуть здатні забезпечити споживачів теплом, електроенергією та гарячим водopостачанням. На відміну від існуючих зразків, нові агрегати не підвищують рівень CO₂, що відповідає цілям сталого розвитку ООН (цілі №7,11, 13).

З точки зору безпеки, то це буде безумовним підвищенням рівня захисту об'єктів критичної інфраструктури завдяки відмові від центральної системи ТЕЦ, зменшення їх потужності та збільшення сумарної кількості завдяки переходу на індивідуальні агрегати.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОДНОКОРПУСНИХ ВИПАРНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ РІДИННО-ПАРОВИХ СТРУМИННИХ АПАРАТІВ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ТТФ;
Євтушенко С. О., аспірант; Вербицький А. Р., аспірант,
Сумський державний університет, м. Суми*

Сучасні випарні установки призначені для харчової промисловості є невід'ємною частиною технологічних ліній та повинні забезпечувати необхідну ефективність для всього процесу. Їх принцип дії полягає в тому, що розчин, який випарюється, відбирає на себе тепло гріючої пари і кипить. При цьому вторинна пара і інертні гази звільняються від бризок рідини у верхній частині випарного апарату відбійниками і по трубопроводу надходять у поверхневий протиточний конденсатор.

Створення і підтримування необхідного значення вакууму у випарному апараті забезпечується пароструминними вакуумними агрегатами. Через те, що в одному ступені пароструминного агрегату, можливо створити перепад тисків пасивного потоку лише в 2-3 рази, вони є багатоступеневими, що призводить до того, що і випарна установка є багатокорпусною.

Застосування в таких установках рідинно-парових струминних апаратів дозволяє перейти від багатокорпусних систем до однокорпусних. Це дає змогу підвищити їх ефективність, зменшити кількість допоміжного обладнання та знизити вартість самої установки.

Авторами було виконано числове дослідження ефективності застосування рідинно-парових струминних апаратів у вакуумних випарних установках з метою переходу на однокорпусні системи.

Було виконано термодинамічний розрахунок основних параметрів у вузлових точках. В результаті термодинамічного розрахунку було одержано значення питомих та повних навантажень на апарати, що входять в установку.

Було проведено ексергетичний аналіз, в результаті якого визначено, що застосування рідинно-парових струминних апаратів дає змогу підвищити ефективність випарної установки в 1,3 рази порівняно з аналогічною системою на базі пароструминних агрегатів. Перехід з двокорпусної установки на однокорпусну додатково збільшує ефективність на 35%. Результати ексергетичного аналізу не враховують економію на зменшенні додаткового обладнання для однокорпусною випарної установки, що також зменшить її вартість.

Також було проведено термoeкономічний аналіз, який дає змогу визначити ціну одиниці продукції та вартість енергоносіїв, які витрачаються на виготовлення цієї продукції. В результаті термoeкономічного аналізу визначили, що в однокорпусних випарних установках на базі рідинно-парового струминного апарату вдається зменшити вартість готової продукції на 18%.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННО-ПАРОВОГО СТРУМИННОГО АПАРАТУ З ПРОФІЛЬОВАНИМИ КАМЕРАМИ ЗМІШУВАННЯ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ТТФ;
Євтушенко С. О., аспірант, Сумський державний університет, м. Суми*

Головним завданням науки на сучасному етапі розвитку є підвищення ефективності існуючих термомеханічних систем та створення нових енергоефективних установок для потреб тепло- та електрозабезпечення. Одним з можливих шляхів розвитку таких систем є перехід від централізованих установок до міні-ТЕЦ. Щоб зробити такі установки енергоефективними, необхідно замінити пароструминні апарати на нові, більш ошадливі, якими можуть стати рідинно-парові струминні апарати.

Рідинно-парові струминні апарати є класом машин, робочий процес яких заснований на принципі струминної термокомпресії. Одним з головних чинників, від яких залежить їх ефективність є ступінь завершеності процесів змішування активного і пасивного потоків в камері змішування. Для цього необхідно спроектувати камеру змішування такої геометричної форми, щоб забезпечити потрібний час, за який відбудеться повне змішування потоків, і на виході з дифузору будемо мати парокрапельний потік пінної структури.

Для дослідження процесів змішування активного і пасивного потоків в рідинно-паровому струминному апараті, були проведені не лише числові, а й експериментальні дослідження камер змішування конічно-циліндричної, параболічної та еліптичної форм з метою виявлення діапазонів їх оптимальної роботи.

В ході експериментального дослідження були випробувані камери змішування з однаковими площами перерізу на вході й на виході, однакової довжини, але різного профілю.

В результаті експериментального дослідження були одержані залежності ступеня підвищення тиску пасивного потоку, масового та об'ємного паровмісту, та швидкості на виході з камери змішування від відношення відносних площ на вході та на виході з камер змішування. Також отримали залежність показників ефективності досліджуваних камер змішування від ступеня підвищення тиску пасивного потоку. Серед них коефіцієнт інжекції, ступінь перевиробництва пари та коефіцієнт швидкості.

За результатами експериментальних досліджень можна зробити висновок, що найбільш ефективною є камера змішування параболічної форми, оскільки в ній значення швидкості на виході знаходиться на рівні 120-160 м/с на всьому діапазоні зміни ступеня підвищення тиску пасивного потоку, що менше, ніж у конічної на 50-60 м/с. Це свідчить про те, що в ній ступінь завершеності процесів змішування буде найбільшою. Це підтверджується величиною ступеня перевиробництва пари, який знаходиться на рівні 1,25-1,8 на всьому діапазоні зміни ступеня підвищення тиску пасивного потоку.

УТОЧНЕННЯ НАПІВЕМПІРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬ

Антоненко С. С., доцент кафедри ПГМ; Яхненко Б. О., студент гр. ЕМ.м-41, Сумський державний університет, м.Суми

У ракурсі запровадження методів з вирішення питань енергозбереження у будівлях, основною величиною, що визначає рівень енергоефективності їх експлуатації, є питома опалювальна характеристика будівель. Важливість отримання такої характеристики підтверджується тим, що цей технічний показник зазначається в енергетичному паспорті або енергетичному сертифікаті будівель. Він також необхідний для проведення проектно-будівельних робіт та розрахунку витрат за тепlopостачання. Треба сказати, що ця характеристика наочно характеризує ефективність експлуатації будівлі.

Питому опалювальну характеристику визначають різними методами:

- за розрахунково-нормативними параметрами (за допомогою узагальнених формул та таблиць);
- за фактичними даними та проектними особливостями;
- за нормативними методиками з використанням осереднених та узагальнених складових.

Для визначення теплової характеристики будівлі різного призначення без урахування всіх складових теплового балансу, її теплову потужність розраховують за збільшеними показниками. Така методика розрахунку прийнятна і для оцінювання потужності системи тепlopостачання, і для порівняльного аналізу фактичних обсягів теплоспоживання з розрахунковими.

Ґрунтуючись на багаторічному практичному досвіді проведення енергоаудиту будівель та їх систем тепlopостачання, на нашу думку, найбільш об'єктивною, та такою, яка максимально враховує реальний стан будівлі, є напівемпірична методика розрахунку питомої опалювальної характеристики будівлі, запропонована професором М. С. Єрмолаєвим.

Перевага цієї методики розрахунку полягає в тому, що в ній враховуються найбільш впливові для визначення рівня енергоспоживання будівлею такі величини, як: індивідуальні проектно-експлуатаційні габарити будівлі (співвідношення розмірів та площ забудови, вікон, стін), застосовуються дійсні для конкретної будівлі коефіцієнти теплопередачі її основних огорожувальних конструкцій (стін, стелі, підлоги, вікон). У структуру подальших формул з визначення теплової потужності будівель за зазначеною методикою додатково враховується фактор співвідношення температур внутрішнього та зовнішнього повітря, а також, введені емпіричні величини впливу тепловтрат, що враховують тепломасообмінні процеси в будівлі.

У базовому варіанті зазначена формула з визначення питомої опалювальної характеристики будівлі будь-якого призначення, Вт/(м³·К), наводиться у такому вигляді

$$q_{\text{пит}}^{\Phi} = \frac{P_6}{F_6} \cdot (k_{\text{стн}} + g_0 \cdot (k_{\text{вкн}} - k_{\text{стн}})) + \frac{1}{H_6} \cdot (0,9 \cdot k_{\text{стл}} + 0,6 \cdot k_{\text{пдл}}), \quad (1)$$

де P_6 – периметр будівлі за зовнішніми розмірами огорожувальних конструкцій, м;

F_6 – площа забудови будівлі в межах її периметра, м²;

H_6 – висота будівлі в межах опалювальних приміщень за поверхами, м;

g_0 – коефіцієнт скління будівлі;

$k_{\text{стн}}, k_{\text{вкн}}, k_{\text{стл}}, k_{\text{пдл}}$ – приведені коефіцієнти теплопередачі, відповідно, стін, вікон, стелі, підлоги, Вт/(м²·К).

Досвід проведення відповідних розрахунків, і співставлення отриманих результатів з дійсними обсягами теплоспоживання будівлями, особливо для одно- та двоповерхового виконання, виявило проблему значної їх розбіжності у бік суттєвого завищення розрахункової величини. Накопичені статистичні результати з енергообстеження будівель, надало змогу отримати емпіричний поправковий коефіцієнт, для внесення у зазначену формулу, який максимально враховує вплив на кінцевий результат фактора висоти будівель.

Емпірично визначено наступне, що коефіцієнт урахування висоти будівлі – k_H , дорівнює:

– для будівель із висотою $H_6 \leq 5$ м – $k_H = 0,5$;

– для будівель із висотою $H_6 > 5$ м – $k_H = 0,85$.

Таким чином, уточнена напівемпірична формула визначення питомої опалювальної характеристики будівлі, Вт/(м³·К), за методикою М. С. Єрмолаєва, має наступний вигляд

$$q_{\text{пит}}^{\Phi} = \frac{P_6}{F_6} \cdot (k_{\text{стн}} + g_0 \cdot (k_{\text{вкн}} - k_{\text{стн}})) + \frac{k_H}{H_6} \cdot (0,9 \cdot k_{\text{стл}} + 0,6 \cdot k_{\text{пдл}}) \quad (2)$$

Після визначення питомої характеристики будівлі розраховують її теплову потужність за збільшеними показниками, кВт

$$Q_6 = q_{\text{пит}}^{\Phi} \cdot \left(0,54 + \left(\frac{t_B^{\text{cp}}}{t_B^{\text{cp}} - t_{\text{з.р}}} \right) \right) \cdot V_6 \cdot (t_B^{\text{cp}} - t_{\text{з.р}}) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де V_6 – об'єм будівлі за зовнішніми розмірами в межах опалювальних приміщень, м³;

t_B^{cp} – осереднена температура по приміщеннях будівлі, °С;

$t_{\text{з.р}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для місцевості, де розташована будівля, °С.

Наведена уточнена формула (2) надає можливість отримувати розрахункові результати, які максимально узгоджуються з дійсними величинами за обсягами теплоспоживання у будівлях.

КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА НА БАЗІ ВИХРОВОЇ ТУРБИНИ ТА ЇЇ ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

*Ванєєв С. М., доцент.; Іванов Г. О., студент гр. К.м-41,
Сумський державний університет, м. Суми*

Газотурбінні і газопоршневі двигуни малої потужності, що поставляються на ринок енергії, не можуть повною мірою задовольнити запити споживачів за багатьма експлуатаційними показниками. У зв'язку з цим особливо привабливим напрямком є розробка автономних паротурбінних установок (ПТУ) малої потужності як ресурсозберігаюче джерело електро- та теплопостачання промислових і комунальних підприємств. ПТУ мають низку незаперечних переваг: можливість використання широкого спектру палив і теплоносіїв, високий ресурс, надійність і простота експлуатації, помірні вартість переобладнання існуючих котельнь. В даний час ПТУ малої потужності знаходять застосування тільки на окремих підприємствах для вироблення додаткової електроенергії на власні потреби, іноді – для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.

Були досліджені параметри когенераційної паротурбінної установки на базі вихрової парової турбіни при тиску пари на вході в турбіну 0,6 МПа, температура пари на вході в турбіну 158,84 °С, тиску пари в конденсаторі 0,15 МПа з різними значеннями масової витрати пари: 0,5 т/год, 1 т/год, 2 т/год.

В результаті досліджень, що для всього діапазону масової витрати пари можливо використання одноканальної двопотокової (два сопла) вихрової турбіни з частотою обертання ротора 3000 об/хв. Отримані основні геометричні, термогазодинамічні та енергетичні параметри парової турбіни.

При зменшенні масової витрати пари з 2 т/год до 0,5 т/год діаметр вихідного перерізу сопла зменшується з 21 мм до 10,2 мм, діаметр меридіонального перерізу проточної частини зменшується з 56 мм до 36 мм, зовнішній діаметр робочого колеса вихрової турбіни зменшується з 812 мм до 655 мм.

Отримані термодинамічні параметри в характерних точках циклу паротурбінної установки. Зокрема, температура води в конденсаторі паротурбінної установки дорівнює 126 °С, що дозволяє використовувати корисно воду, що охолоджує в системі охолодження конденсатора, наприклад для опалення.

Встановлено, що при зменшенні масової витрати пари з 2 т/год до 0,5 т/год теплова потужність парогенератора зменшується з 1295 кВт до 318 кВт, електрична потужність турбогенератора зменшується з 54 кВт до 13 кВт, теплова потужність, яка відведена в конденсаторі з охолоджувальною водою і може бути корисною, зменшується з 1236 кВт до 304 кВт.

Наукове видання

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ

**ХІІ Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 22–25 квітня 2025 р.)**

**Відповідальний за випуск О. Г. Гусак
Комп'ютерне верстання: М. В. Муштай, І. В. Павленко
Обкладинка: О. А. Куліков**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,48. Обл. вид. арк. 12,87. Тираж 100 пр. Зам. №

**Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007, Україна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.**