

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

Факультет конструювання та дизайну



ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

**XXIV ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-
ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ
ТА АСПІРАНТІВ**

**«ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ТА
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ:
КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙН»**

(10-11 квітня 2025 року)

Київ-2025

УДК 631.17+62-52-631.3
ББК40.7

Збірник тез доповідей XXIV Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн». – К., 2025. – 118 с.

Збірник рекомендовано до друку рішенням вченої ради факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України від 18.03.2025 р., протокол № 7.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів факультету конструювання та дизайну НУБіП України, провідних закладів вищої освіти, в яких розглядаються завершені етапи розробок з машин і обладнання сільськогосподарського виробництва, промислового і цивільного будівництва, робототехніки, механізації сільського господарства, будівництва сільських територій, конструювання і надійності машин для сільського і лісового господарств, удосконалення та нових розробок біотехнологічних процесів і технічних засобів.

Редакційна колегія: Ружи́ло З.В. – голова, к.т.н., доц.; Афтандія́нц Є.Г., д.т.н., проф.; Баку́лін А.Є., к.т.н., доц.; Булгаков В.М., д.т.н., проф.; Лове́йкін В.С., д.т.н., проф.; Лопатько К.Г., д.т.н., проф.; Несвідо́мін А.В., к.т.н., доц.; Несвідо́мін В.М., д.т.н., проф.; Нови́цький А.В., к.т.н., доц.; Пили́пака С.Ф., д.т.н., проф.; Роговський І.Л., д.т.н., проф.; Чау́сов М.Г., д.т.н., проф.; Яковенко І.А., д.т.н., проф.; Ромасевич Ю.О. – секретар, д.т.н., проф.

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У ЕЛЕКТРОДВИГУНІ НА ТРЬОХ ЕТАПАХ РУХУ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ВІЗОК-ВАНТАЖ» БАШТОВОГО КРАНА

*Ловейкін В.С., д.т.н., проф.
Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.
Стехно О.В, PhD.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Для визначення енергетичної ефективності на трьох етапах руху системи «візок-вантаж» баштового крана виконаємо їх розрахунок. Суть розрахунку полягає у тому, що визначаються втрати електроенергії протягом першого (пуск і вибір слабини тягового каната), другого (натяг тягового каната до величини статичного опору W переміщення вантажного візка) та третього (рух вантажного візка із вантажем на гнучкому підвісі на відстань, яка задана технологічним процесом) етапів руху досліджуваної системи й після цього величини отриманих значень порівнюються між собою.

Для дослідження втрат електроенергії було використано існуючу динамічну модель руху досліджуваної системи [1]. Для кожного етапу руху системи складались відповідні рівняння, які доповнювались рівняннями руху асинхронного електроприводу. Початкові умови для першого етапу є нульовими. Початкові умови для другого етапу руху є кінцевими умовами першого етапу руху, а кінцеві умови для другого етапу є початковими умовами для третього [1].

Основні значення параметрів досліджуваної динамічної системи, за якими визначалися втрати електроенергії для кожного із етапів руху, відповідали баштовому крану КБ-674 [1].

За результатами чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, побудовано графічні залежності, зміни потужності у електродвигуні досліджуваної системи (рис. 1 а, б):

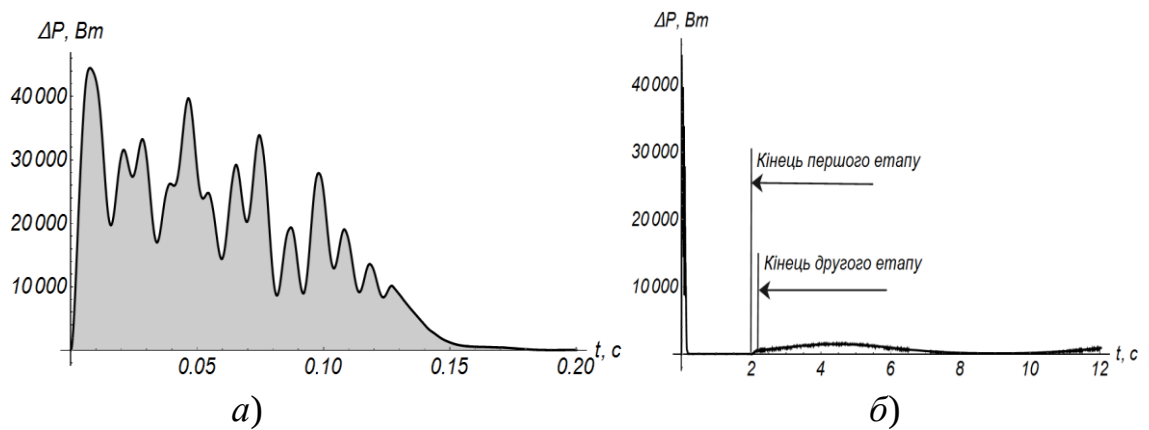


Рисунок 1 – Зміна потужності в асинхронному електродвигуні: а) на початку першого етапу руху; б) протягом трьох етапів руху системи

Крім того, для кожного етапу руху системи розраховано величини втрат електроенергії у асинхронному електродвигуні, які зведено у табл. 1.

Таблиця 1. Втрати електроенергії на етапах руху системи

Показник	Етап руху системи		
	Перший	Другий	Третій*
Значення, Дж	3040,71	1,23	6778,35

* значення втрат залежить від переміщення вантажного візка із вантажем на гнучкому підвісі згідно заданого технологічного процесу.

Втрати електроенергії протягом пуску асинхронного електродвигуна складають 2976,56 Дж, що становить 97,8 % від загальних втрат на першому етапі руху. Середні втрати електроенергії протягом пуску електродвигуна у 22,0 рази перевищує аналогічний показник під час наступного етапу руху.

Наведені результати досліджень підтверджують висновок стосовно того, що мінімізацію втрат електроенергії необхідно виконувати саме на першому етапі руху динамічної системи «візок-вантаж» механізму зміни вильоту баштового крана.

Список використаних джерел:

1. В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, О.В. Стехно, Д.І. Муштин. Наукове обґрунтування і розробка методів динамічного моделювання та режимно-параметричної оптимізації сучасних вантажопідйомних машин. Монографія. ЦП „КОМПРІНТ”. Київ. 2023. 458 с.

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОДНОЧАСНОГО РУХУ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОЗЛОВОГО КРАНА ТА ВІЗКА І ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ

*Ловейкін В.С., д.т.н., проф.
Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.
Лишень С.С., аспір.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

З метою підвищення продуктивності козлових кранів при перевантаженні довгомірних деревних матеріалів досить часто здійснюють одночасну роботу декількох механізмів. При такій роботі механізмів в елементах конструкції крана та приводних механізмів значно зростають динамічні навантаження, які, в свою чергу, зменшують продуктивність та надійність роботи крана, а також підвищують енергетичні витрати. Для встановлення дійсних навантажень, які діють на елементи конструкції крана, необхідно провести динамічний аналіз сумісного руху механізмів. Основою для розробки методики проведення динамічного аналізу одночасного руху механізмів козлового крана є його динамічна модель.

Козловий кран представимо у вигляді механічної системи, що складається з абсолютно твердих ланок, окрім канату гнучкого підвісу вантажу, який разом з вантажем може здійснювати маятникові коливання у взаємно-перпендикулярних площинах переміщення крана та візка з вантажем. Крім того, канат механізму підйому вантажу разом з тяговим канатом переміщення візка володіють пружно-дисипативними властивостями. Пружно-дисипативними властивостями також володіють пружні муфти приводних механізмів переміщення крана та візка і підйому вантажу. Виходячи з наведеного, при побудові динамічної моделі одночасного руху механізмів козлового крана будемо враховувати основні рухи механізмів переміщення крана, візка і підйому вантажу, та коливальні рухи в пружних муфтах приводних механізмів, тяговому канаті переміщення візка та канаті вантажу, а також маятникові коливання вантажу на гнучкому підвісі у взаємно-перпендикулярних площинах. Отже, козловий кран може бути представлений системою з десятьма ступенями вільності.

За узагальнені координати основного руху крана прийняті кутові координати приводних двигунів механізмів переміщення крана - α ,

переміщення візка – β та підйому вантажу – γ . Також за узагальнені координати використані кутові координати приводного колеса механізму переміщення крана – δ та приводних барабанів механізмів переміщення візка – φ і підйому вантажу – ψ , відхилення від вертикалі гнучкого підвісу вантажу в площині переміщення крана – λ та візка – ν , а також лінійні координати переміщення центру мас візка – s та довжини гнучкого підвісу вантажу – u . За рушійні сили використовуються статичні чи динамічні механічні характеристики приводних електродвигунів механізмів переміщення крана і візка та підйому вантажу. Силами опору виступають сили тертя перекочуванню приводних коліс крана та візка, вітрового навантаження та сили від ухилу напрямних переміщення крана та візка.

УДК 621.87

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СИНХРОННОМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ТА ПОВОРОТУ СТІЛИ КРАНА

Ловейкін В.С., д.т.н., проф.

Кади́кало І.О., к.т.н., ст. викл.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Для дослідження динаміки спільного руху механізмів стрілова система представлена механічною системою з шістьма ступенями вільності, де враховано основний рух механізмів та коливальний рух ланок конструкції з пружними та дисипативними властивостями, а також вантажу на гнучкому підвісі в площині повороту крана та підйому вантажу. Для такої механічної системи вантажопідйомного крана складено диференціальні рівняння сумісного руху механізмів повороту та підйому вантажу. Отримані рівняння являють собою систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, для розв'язування яких використано чисельний метод у вигляді комп'ютерної програми.

В результаті чисельного розв'язування системи диференціальних рівнянь при початкових умовах руху механізмів за допомогою розробленої комп'ютерної програми для конкретного стрілового крана з підйомною стрілою побудовані графічні залежності кінематичних (рис.1 – 5), динамічних (рис. 6) та енергетичних (рис. 7) характеристик.

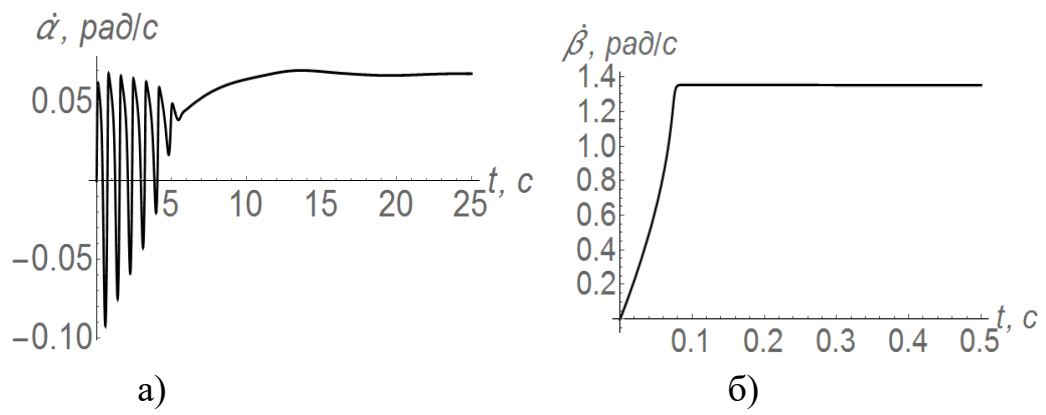


Рисунок 1 – Кутові швидкості приводних механізмів: а) повороту; б) підйому

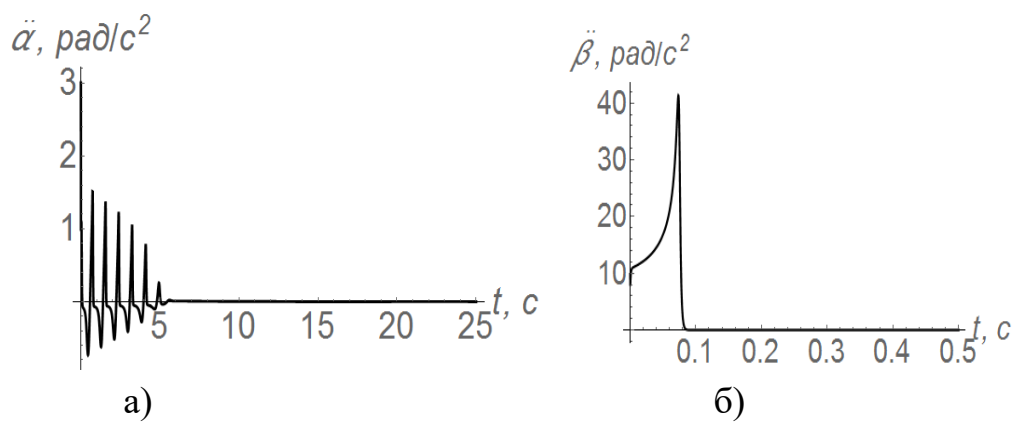


Рисунок 2 – Кутові прискорення приводних механізмів: а) повороту крана; б) підйому вантажу

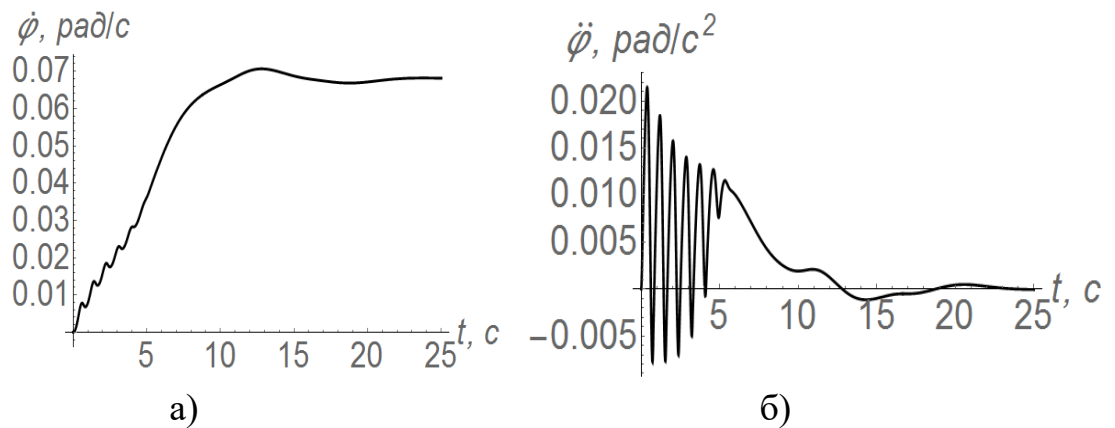


Рисунок 3 – Кутові швидкість (а) та прискорення (б) поворотної колони крана

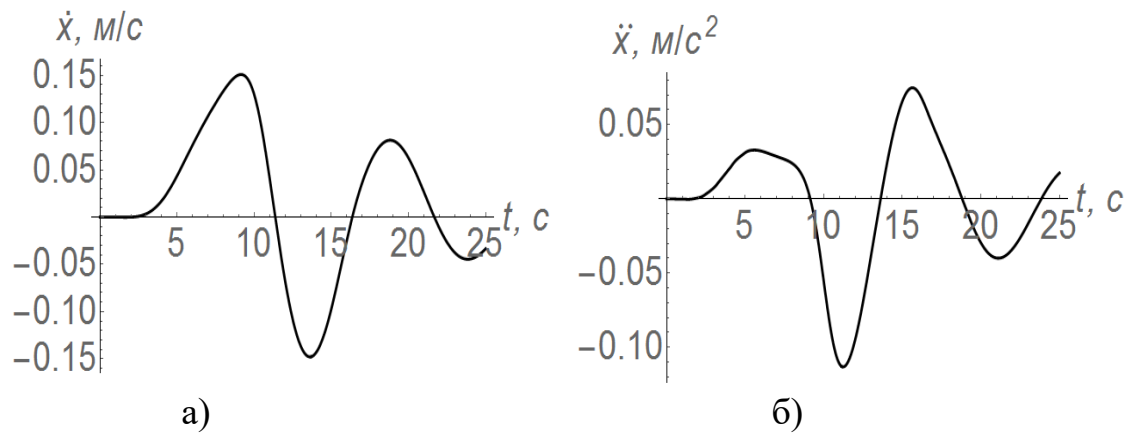


Рисунок 4 – Лінійні швидкість (а) та прискорення (б) вантажу в площині зміни вільоту

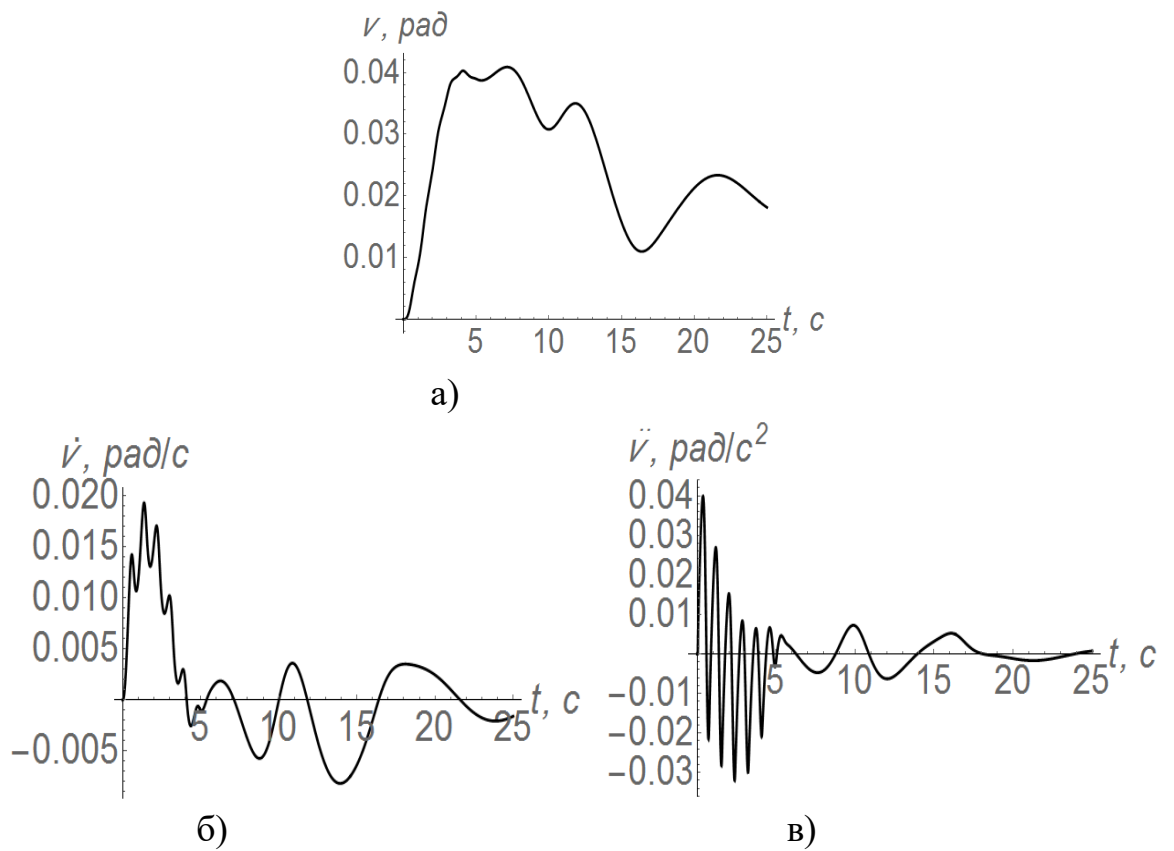


Рисунок 5 – Кутові переміщення (а), швидкість (б) та прискорення (в) відхилення поліспадної системи від вертикалі

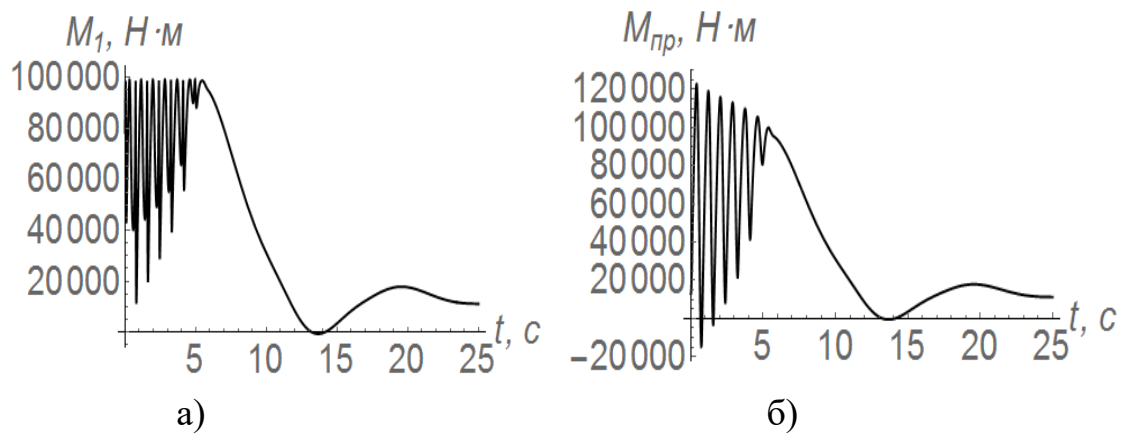


Рисунок 6 – Рушійний (а) та пружний (б) моменти механізму повороту крана

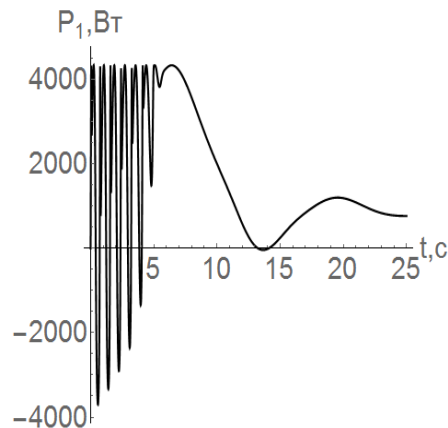


Рисунок 7 – Графік зміни потужності приводу механізму повороту

За графічними залежностями кутових швидкостей і прискорень встановлено, що під час пуску механізму повороту спостерігаються знакозмінні коливання з амплітудою до $\pm 0,09$ рад/с і частотою $1,4$ с $^{-1}$, що зумовлює значні динамічні навантаження в елементах приводу та поворотної колони. У механізмі підйому вантажу прискорення досягає 40 рад/с 2 за $0,1$ с, створюючи імпульсні навантаження, що виникають миттєво. Вантаж на гнучкому підвісі зазнає коливань, викликаних відцентровими силами та відхиленням каната від вертикалі, які затухають повільно, впливаючи на стабільність переміщення. Визначено, що рушійний і пружний моменти механізму повороту змінюються в коливальному режимі з піками 100 і 120 кНм відповідно. Коливальний характер потужності електроприводу повороту (до 4 кВт) пояснюється електромагнітними перехідними процесами в електродвигуні. Запропоновано зменшення динамічних навантажень шляхом усунення коливань, підвищення плавності руху механізмів та оптимізації керування електроприводами для покращення надійності й продуктивності крана.

Список використаних джерел:

1. Loveikin, V., Romasevych, Yu., & Kadykalo, I. (2023). Dynamic analysis of the joint movement of the hoisting and slewing mechanisms of a boom crane. *Machinery & Energetics*, 14(4), 75-85. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.75>

УДК 621.87

ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ СУМІСНОМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ ТА СТІЛИ СТІЛОВОГО КРАНА

Ловейкін В.С., д.т.н., проф.

Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.

Кадикало І.О., к.т.н., ст. викл.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні стрілові вантажопідйомні крани працюють у складних експлуатаційних умовах, де навіть незначні динамічні збурення можуть призвести до серйозних негативних наслідків. Найбільші труднощі виникають у режимах сумісного запуску механізмів підйому вантажу та стріли, коли система перебуває під впливом інтенсивних імпульсних навантажень, коливань вантажу на тросі та неузгоджених дій приводів. Це не лише знижує точність переміщення, але й істотно підвищує рівень енергоспоживання та прискорює знос основних конструктивних елементів крана. Ігнорування цих чинників веде до втрати ресурсу техніки, підвищення витрат на обслуговування й потенційних аварій.

Мета дослідження полягає у підвищенні експлуатаційної надійності та енергоефективності крана через оптимізацію режиму сумісного запуску механізмів. Для цього запропоновано використати комплексну динамічну модель руху та адаптований метод оптимізації.

Для знаходження оптимального режиму застосовано модифікований метаевристичний метод VCP-PSO. Після виконання алгоритму отримано розв'язок, що забезпечує дотримання обмежень на керуючі моменти приводів і мінімізує сумарне енергоспоживання.

Результати моделювання кутової швидкості механізмів демонструють характерні особливості динаміки системи. Кутова швидкість повороту стріли

змінюється у коливальному режимі як у базовому, так і в оптимальному варіантах. Водночас в оптимальному режимі спостерігається менша амплітуда високочастотних коливань, що свідчить про зменшення динамічного впливу на механізми. Для вантажопідйомного механізму кутова швидкість барабана змінюється плавно в обох випадках, що пов'язано з лінійністю функції переміщення та сталою величиною сили тяжіння вантажу.

Фазовий портрет пружних коливань каната вантажопідйомного механізму свідчить, що в обох варіантах коливання затухають протягом одного циклу. В оптимальному розрахунку максимальна деформація каната дещо менша, але швидкість зміни деформації більша. Це пояснюється врахуванням реальних навантажень і жорсткішим профілем управління. Аналогічно, фазовий портрет коливань вантажу на гнучкому підвісі показує затухаючі маятникові коливання з дещо більшими максимальними відхиленнями у випадку оптимального варіанта.

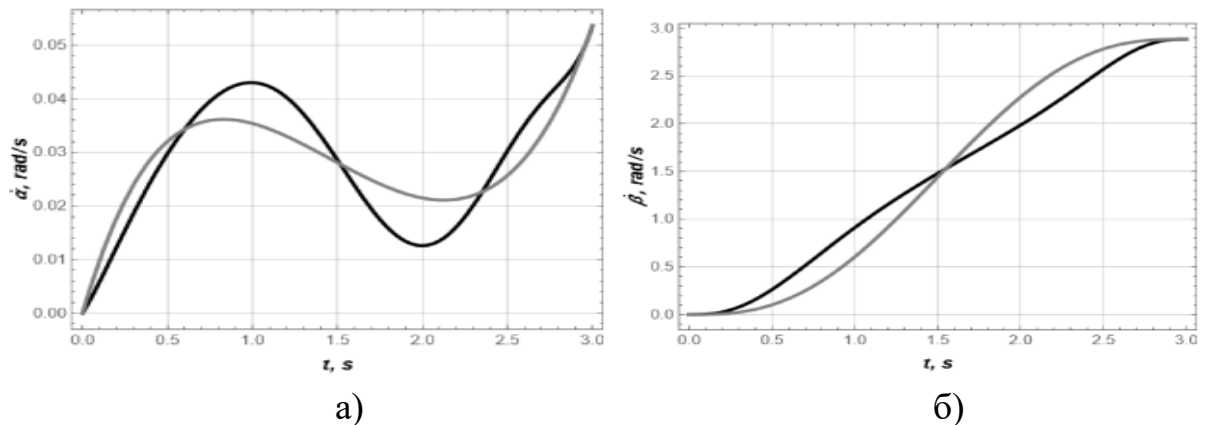


Рисунок 1 – Графіки кутової швидкості повороту стріли (а) та кутової швидкості приводного барабана вантажопідйомного механізму: сіра крива – базове розв'язання задачі, чорна – оптимальне

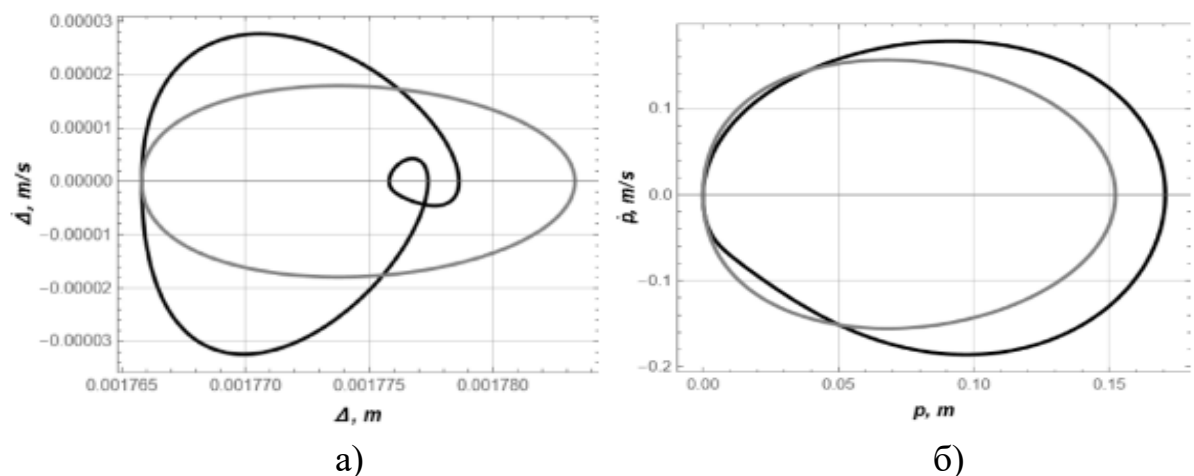
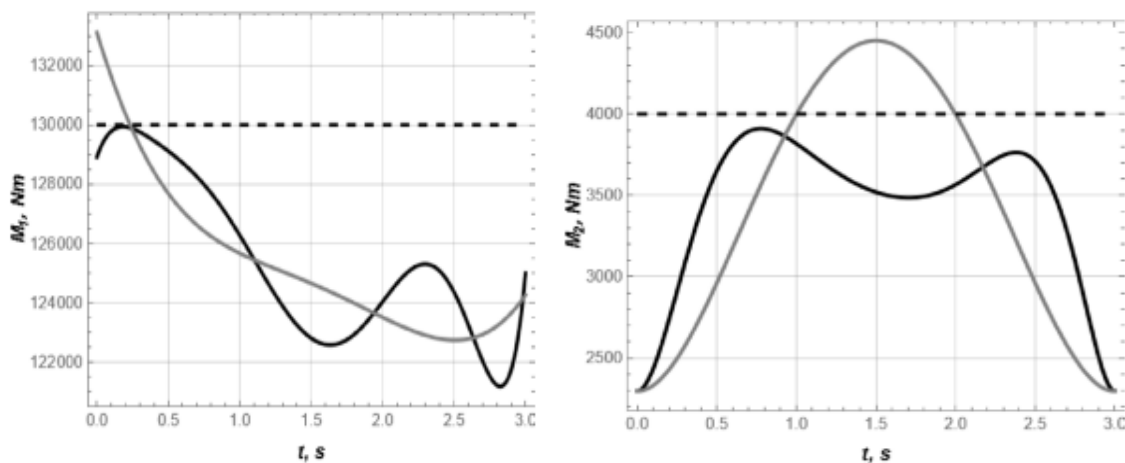


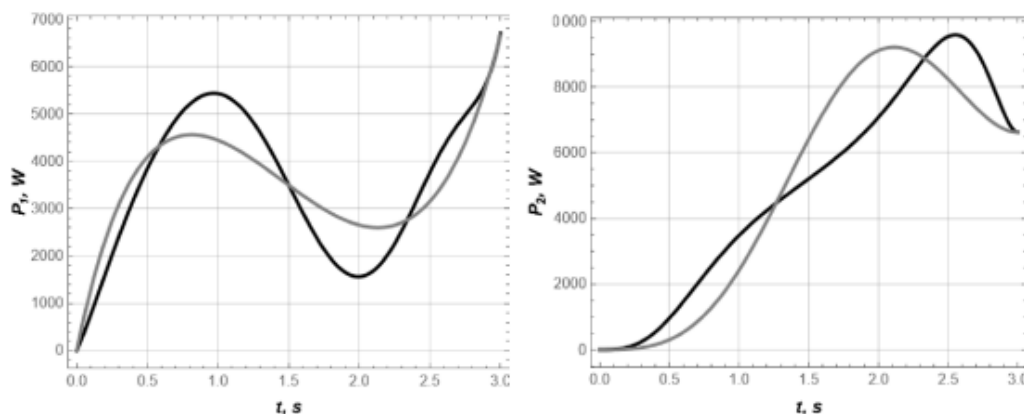
Рисунок 2 – Фазовий портрет пружних коливань каната вантажопідйомного механізму (а) та фазовий портрет маятникових коливань вантажу на гнучкому підвісі (б): сіра крива – базове, чорна – оптимальне



а)

б)

Рисунок 3 – Графіки моменту на приводі механізму підйому стріли (а) та моменту на приводі вантажопідйомного механізму (б): сіра крива – базове, чорна – оптимальне



а)

б)

Рисунок 4 – Графіки потужності приводу механізму підйому стріли (а) та потужності приводу вантажопідйомного механізму (б): сіра крива – базове розв'язання задачі, чорна – оптимальне

У графіках зміни крутного моменту приводів механізмів підйому вантажу та стріли зафіксовано суттєві відмінності між базовим і оптимальним розрахунками. У базовому варіанті обидва механізми перевищують граничні допустимі значення моментів: 130 кН·м для стріли та 4000 Н·м для вантажу. В оптимальному варіанті ці обмеження не порушуються, при цьому спостерігається лише незначне коливання моменту. Особливо показовим є зменшення максимального моменту вантажопідйомного механізму на 13,9%, що істотно знижує навантаження на привід і покращує його довговічність.

Поведінка потужності приводів також свідчить про ефективність оптимізації. У випадку приводу стріли амплітуда коливань потужності зростає в оптимальному варіанті, але середнє значення незначно змінюється. Для

вантажопідйомного приводу, навпаки, у оптимальному розрахунку середнє значення потужності зменшується на 3,4%, хоча максимальне — трохи збільшується. Це свідчить про покращене енергетичне використання за рахунок більш ефективного розподілу навантажень у часі. Згідно з даними середньоквадратичних показників оптимальний варіант не поступається базовому або перевершує його. Наприклад, середній крутний момент приводу стріли практично однаковий у двох варіантах ($\sim 125,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$), але максимум на 2,4% нижчий у оптимальному випадку. Максимальні значення моментів і деформацій в оптимізованому режимі суттєво нижчі або відповідають межах, при цьому не порушуються жодні обмеження. Загалом результати дослідження підтверджують, що застосування оптимізації дозволяє знизити динамічні навантаження, забезпечити дотримання обмежень і покращити енергетичну ефективність роботи стрілового крана без втрати точності або стабільності руху.

Список використаних джерел:

1. Loveikin, V., Romasevych, Yu., Loveikin, Yu., Krushelnytskyi, V., & Kadykalo, I. (2024). Optimization of the joint startup of the boom and load hoisting mechanisms of a jib crane. *Machinery & Energetics*, 15(4), 9-21. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.09>

УДК 621.87

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ МАНІПУЛЯТОРА З ДВОМА ПОСТУПАЛЬНИМИ ТА ОДНІЄЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ ЛАНКАМИ

*Ловейкін В.С., д.т.н., проф.
Кадикало І.О., к.т.н., ст. викл.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У сучасних умовах автоматизації виробництва особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на підвищення ефективності функціонування роботизованих маніпуляторів. Однією з ключових проблем у цій сфері є забезпечення оптимального режиму руху маніпулятора, який дозволяє одночасно зменшити енергетичні витрати, мінімізувати навантаження на приводи та забезпечити високу точність позиціонування захватного пристрою. У даному дослідженні розглянуто маніпулятор з двома

поступальними та однією обертальною ланками, що працює у вертикальній площині зміни вильоту захватного пристрою. Така конфігурація широко застосовується у вантажопереміщувальних, пакувальних та технологічних операціях у сільськогосподарській, харчовій і машинобудівній галузях.

Проблематика полягає не лише у виборі траєкторії руху захватного пристрою між двома фіксованими точками, а й визначенні оптимального режиму руху вздовж цієї траєкторії. Крім того, важливо підібрати характеристики приводних механізмів та реалізувати систему керування, здатну відтворити цей режим. Для розв'язання цієї задачі в роботі побудовано математичну модель, яка базується на узагальнених координатах – куті повороту стійки (ϕ_1), вертикальному переміщенні (s_2) та горизонтальному переміщенні (s_3) захватного пристрою.

У дослідженні розглянуто два підходи до оптимізації режиму руху. Перший базується на мінімізації середнього значення кінетичної енергії захватного пристрою з вантажем, що є критерієм енергетичної ефективності. Виявлено, що найкращий результат дає режим із постійною швидкістю переміщення. Проте він не враховує фази розгону та гальмування, тому застосовується лише на ділянках усталеного руху.

Другий підхід передбачає мінімізацію динамічної складової потужності, що витрачається на прискорення вантажу. У цьому випадку оптимальний є параболічний закон зміни швидкості з лінійним прискоренням. Це дозволяє знизити навантаження на приводи під час пуску та зупинки, забезпечити плавність руху і знизити динамічні навантаження на механічні елементи маніпулятора. Такий режим доцільно застосовувати на коротких відрізках.

На основі аналізу запропоновано комплексний оптимальний режим руху, який об'єднує переваги обох підходів. На ділянках пуску та гальмування використовується параболічна зміна швидкості, а на усталеній ділянці – постійна швидкість. Це дозволяє підвищити плавність руху, що не лише забезпечує економію енергії, але й покращує надійність роботи маніпулятора завдяки зниженню пікових навантажень.

Особливу увагу в роботі приділено зворотній задачі кінематики, яка дозволяє на основі оптимального режиму руху захватного пристрою визначити значення узагальнених координат та їх похідних за часом. Це, в свою чергу, дозволяє встановити характеристики приводних механізмів вертикального підйому та горизонтального переміщення, а також параметри систем керування, які забезпечать точне відтворення заданого режиму.

Проведене моделювання підтверджує ефективність розробленого алгоритму оптимізації. Запропонований підхід дозволяє враховувати як енергетичні витрати, так і динамічні навантаження на приводи та

конструктивні елементи маніпулятора, що в комплексі забезпечує підвищення надійності, довговічності та економічності його роботи. Застосування комбінованого режиму руху є доцільним у більшості виробничих задач, де маніпулятор виконує повторювані цикли переміщення вантажів між двома фіксованими точками.

Як висновок відзначимо, що реалізація оптимального режиму руху маніпулятора вимагає застосування інтелектуальних систем керування, які здатні забезпечити змінний закон зміни швидкості приводів у відповідності до отриманих залежностей. Такі системи повинні враховувати масу вантажу, тривалість переміщення, початкові та кінцеві умови руху та забезпечувати плавне перемикання між фазами пуску, усталеного руху та гальмування. Перспективними напрямками подальших досліджень є розширення алгоритму оптимізації на просторові траєкторії, а також адаптація режиму руху до змінних умов навантаження у реальному часі.

Таким чином, розроблено математично обґрунтований алгоритм оптимізації руху маніпулятора з двома поступальними та однією обертальною ланками. Запропонований підхід забезпечує зменшення енергетичних витрат і динамічних навантажень, покращення якості керування та підвищення ефективності експлуатації маніпуляторних систем. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні робототехнічних комплексів у сфері аграрного, промислового та логістичного виробництва.

Список використаних джерел:

1. Ловеїкін В.С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів. Машинознавство. 1999. №7. С.24-31.
2. Ловеїкін В.С. Аналіз оптимальних режимів руху піднімальних машин. Вібрації в техніці та технологіях. №2 (34). 2004. С.1-5.
3. Loveikin, V. S., Romasevych, Y. O., Kadykalo, I. O., & Kalenichenko, B. V. (2023). Optimization of the movement mode of a manipulator with two progressive and one rotary links in the plane of change of range. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 1 (51), 44-52. <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.8>

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ З КОМП'ЮТЕРНИМ ЗОРОМ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Крушельницький В.В., к.т.н., доц.

Щекальова А.М., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Системи комп'ютерного зору відіграють важливу роль у сучасному сільськогосподарському виробництві. Це сприяє автоматизації та підвищенню ефективності різних процесів у аграрній сфері. Системи з комп'ютерним зором використовують, як для моніторингу стану рослин, так і для автоматизації збору врожаю. Такі технології дають змогу аграріям автоматизовано отримувати візуальну інформацію з полів, що раніше вимагала трудомістких польових спостережень. Також вони використовуються для виконання трудомістких операцій. Сучасні системи здатні розпізнавати симптоми хвороб, дефіциту поживних речовин або шкідників ще на ранніх етапах розвитку проблеми. Це досягається шляхом проксимального зондування структури рослини. Для цього використовуються кольорові мультиспектральні та гіперспектральні камери, які встановлюються на дистанційно керований робот [1].

Для ідентифікації відхилень від норми використовують згорткові нейронні мережі (CNN) [2, 3]. Глибоке навчання, зокрема штучні нейронні мережі активно використовуються для аналізу зображень рослин, що дозволяє ідентифікувати хвороби. Ефективний результат отримано науковцями у виявленні хвороб листя винограду та помідорів [4].

Ще одним важливим застосуванням комп'ютерного зору є контроль за ростом і розвитком рослин на всіх етапах вегетації за допомогою БПЛА і наземних роботизованих платформ [5, 6]. Такі платформи збирають зображення культур, які потім аналізуються, далі відбувається оцінка висоти та густоти посівів тощо. Отримані дані є незамінними при прийнятті рішень щодо підживлення, поливу та регулювання агротехнічних заходів. Важливо також, що ці системи можуть інтегруватися з геоінформаційними системами (GIS), що дозволяє створювати точні карти стану посівів і прогнозувати врожайність.

Технології комп'ютерного зору застосовуються і для автоматизації збору врожаю, наприклад системи розпізнавання зрілих плодів. В них

використовується глибоке навчання нейронної мережі, відповідно до прийнятих рішень забезпечується селективний збір продукції, мінімізуючи втрати та пошкодження [7]. Такі роботи оснащені камерами та сенсорами, можуть ідентифікувати плоди, оцінити їхню стиглість і дбайливо зібрати їх без участі людини [6]. Цей підхід особливо актуальний у трудомістких роботах.

Нещодавно компанія John Deere представила автономні трактори, які оснащені технологією комп'ютерного зору. Розробка таких машини спрямована на розв'язання проблеми нестачі робочої сили та підвищення продуктивності в аграрному секторі [9].

Проаналізувавши результати дослідження різних авторів, слід зазначити, що для реалізації систем з комп'ютерним зором, які використовуються у сільськогосподарському виробництві широко використовуються згорткові нейронні мережі. Загалом системи комп'ютерного зору формують нову парадигму сільськогосподарського виробництва. Інтеграція цієї технології в аграрних процесах підвищує ефективність і рентабельність виробництва.

Однак впровадження супроводжується певними викликами, такими як висока вартість обладнання, необхідність навчання персоналу, зокрема для обслуговування та ремонту. Масове впровадження систем комп'ютерного зору у сільськогосподарське виробництво з часом може призвести до зменшення вартості. Щодо навчання персоналу, слід зазначити, що обслуговування такої техніки потребує висококваліфікованих працівників. Для швидкого ремонту машин обладнаних системою комп'ютерного зору пропонується модульна заміна блоків, які вийшли з ладу.

Якщо розглядати з погляду використання наземних роботизованих комплексів, то для швидкої заміни блоків, які вийшли з ладу пропонується проєктувати універсальні конструкції, які будуть складатися зі швидкозмінних як механічних так і електронних модулів. Тому подальші дослідження слід спрямовувати саме на розробку конструкторських рішень, які будуть складатися з уніфікованих швидкозмінних блоків.

Список використаних джерел:

1. Cubero, S., Marco-Noales, E., Aleixos, N., Barbé, S., & Blasco, J. (2020). RobHortic: A Field Robot to Detect Pests and Diseases in Horticultural Crops by Proximal Sensing. *Agriculture*, 10(7), 276. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070276>.
2. Forhad, S., Tayef, K. Z., Hasan, M., Hasan, A. N. M. S., Islam, M. Z., & Shuvo, M. R. K. (2023). An autonomous agricultural robot for plant disease detection. In M. S. Hossain, S. P. Majumder, N. Siddique, & M. S. Hossain (Eds.),

The Fourth Industrial Revolution and Beyond (Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 980, pp. 695–708). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8032-9_50

3. O'Halloran, T., Obaido, G., Otegbade, B., & Mienye, I. D. (2024). A deep learning approach for Maize Lethal Necrosis and Maize Streak Virus disease detection. *Machine Learning with Applications*, 16, 100556. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100556>.

4. Paymode, A. S., & Malode, V. B. (2022). Transfer learning for multi-crop leaf disease image classification using convolutional neural network VGG. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.12.002>.

5. Deng, J., Zhou, H., Lv, X., Yang, L., Shang, J., Sun, Q., Zheng, X., Zhou, C., Zhao, B., Wu, J., & Ma, Z. (2022). Applying convolutional neural networks for detecting wheat stripe rust transmission centers under complex field conditions using RGB-based high spatial resolution images from UAVs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107211. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107211>.

6. Rajendra, P., Kondo, N., Ninomiya, K., Kamata, J., Kurita, M., Shiigi, T., Hayashi, S., Yoshida, H., & Kohno, Y. (2009). Machine vision algorithm for robots to harvest strawberries in tabletop culture greenhouses. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2(1), 24–30.

7. Xiong, Y., Peng, C., Grimstad, L., From, P. J., & Isler, V. (2019). Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.009>.

8. Seitz, P. (2025, January 6). *Deere tackles labor shortages with autonomous tractors*. *Investor's Business Daily*. <https://www.investors.com/news/technology/deere-stock-equipment-maker-unveils-new-autonomous-tractors/>

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В НАЗЕМНИХ ДРОНАХ ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ МУРАШНИКІВ

Крушельницький В.В, к.т.н., доц.

Галат М.В., д.вет.н., проф.

Саркісова М.В., студ.

Бабичев О.Ю., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Однією з проблем у сільському господарстві є пошкодження посівів шкідниками, зокрема мурахами. Вони корисні у помірній кількості, оскільки риючи ходи, вони розпушують ґрунт, переміщують органічні залишки та полюють на дрібних шкідників. З іншої сторони мурахи пошкоджують кореневу систему рослини, захищають попелиць та можуть переміщувати насіння бур'янів. Особливо негативний вплив спричиняється коли популяція значно збільшується. Одним зі способів боротьби зі шкідниками є використання приманки [1], яку мурахи приносять до колонії, що призводить до знищення всієї популяції. Використання такого методу доволі ефективне. Існують інші методи боротьби з мурахами, наприклад використання ентомопатогенних грибів у поєднанні з сублетальними дозами інсектицидів, рослинних ефірних олій та методів РНК-інтерференції [2]. Також досліджувалось використання ефірної олії кориці, р-анісовий альдегід та етилантранілат, які показали свою ефективність при запобіганні пошкодження мурахами систем мікро зрошування [3]. В іншому дослідженні [4] запропоновано використовувати технології, що базуються на фототаксисі, хромотаксисі та хемотаксисі. Ультразвуковий метод відлякування мурах не показав своєї ефективності [1].

Отже, методи боротьби з мурахами можна розділити на такі, що призводять до знищення цілої колонії та методи, які їх тільки відлякують. Обидва методи можна використати у наземних дронах, які оснащені системою комп'ютерного зору. Слід звернути увагу, на те, що інсектициди можуть викликати фітотоксичний та фітотонічний ефект у рослин [9]. Для уникнення цього слід використовувати методи, які діють на відлякування мурах, наприклад інвазії ємності з екстрактом кориці в землю безпосередньо в зоні мурашника або його розпилення на поверхню мурашника. Напрацювання по розпізнанню мурах за допомогою системи комп'ютерного зору розглядалися у дослідженнях [5, 6] та інших. У якості наземного дрону пропонується

використовувати роботів, які призначені для виявлення хвороб та шкідників [7, 8]. На такий робот пропонується встановити спеціальний пристрій для розпилення екстракту кориці у зоні мурашників або безпосереднього виконання дії інвазії у ґрунт.

Подальші дослідження мають бути направлені на конструкторські рішення такого пристрою та проведення експерименту для визначення ефективності використання таких систем.

Список використаних джерел:

1. Warner, John & Scheffrahn, Rudolf. (2005). Laboratory evaluation of baits, residual insecticides, and an ultrasonic device for control of white-footed ants, *Technomyrmex albipes* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 45. 1–14.
2. Masiulionis, V. E., & Samuels, R. I. (2025). Investigating the Biology of Leaf-Cutting Ants to Support the Development of Alternative Methods for the Control and Management of These Agricultural Pests. *Agriculture*, 15(6), 642. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060642>.
3. de Pedro, L., & Sanchez, J. A. (2022). Natural Repellents as a Method of Preventing Ant Damage to Microirrigation Systems. *Insects*, 13(4), 395. <https://doi.org/10.3390/insects13040395>.
4. Dong, H., Huang, X., Gao, Q., Li, S., Yang, S., & Chen, F. (2023). Research Progress on the Species and Diversity of Ants and Their Three Tropisms. *Insects*, 14(11), 892. <https://doi.org/10.3390/insects14110892>.
5. Sabattini, J. A., Sturniolo, F., Bollazzi, M., & Bugnon, L. A. (2023). AntTracker: A low-cost and efficient computer vision approach to research leaf-cutter ants behavior. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100252>.
6. Das, M., Liu, F.-L. C., Hartle, C., Yang, C.-C. S., & Chen, C. P. J. (2024). Ant Detective: An Automated Approach for Counting Ants in Densely Populated Images and Gaining Insight into Ant Foraging Behavior. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.20638>.
7. Forhad, Shamim & Shuvo, Md. Riazat Kabir. (2023). An Autonomous Agricultural Robot for Plant Disease Detection. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8032-9_50.
8. Cubero, S., Marco-Noales, E., Aleixos, N., Barbé, S., & Blasco, J. (2020). RobHortic: A Field Robot to Detect Pests and Diseases in Horticultural Crops by Proximal Sensing. *Agriculture*, 10(7), 276. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070276>.
9. Guedes, R. N. C., Biondi, A., Agathokleous, E., & Nunes-Nesi, A. (2023). (Systemic) insecticides in plants: Phytotoxicity, bioactivation, or hormesis?

УДК 621.988

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ ДУБЛЮЮЧОГО ДРУКУ

Крушельницький В.В., к.т.н., доц.

Клименко А.А., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні технології 3D-друку стали невід'ємною частиною промисловості, медицини, авіації та побутового використання. Однак, незважаючи на їхній потенціал, масове виробництво ідентичних деталей залишається проблемним через обмеження традиційних принтерів. Класичні 3D принтери з одним екструдером витрачають значний час на друк і це є одним із недоліків 3D друку.

Для вирішення цієї проблеми авторами однієї із робіт [1] було запропоновано конструкцію з двома друкуючими головками, що дозволяє друкувати вироби з двох різних матеріалів, сумісного з дешевим і загальнодоступним 3D принтером Prusa i3MK2S. Ключовим аспектом проєктування була сумісність пристрою з даним принтером при збереженні максимально можливої площі друку.

В іншому дослідженні [2] запропоновано голівку 3D принтера з подвійними екструдерами, що використовують спільний приводний двигун, який включає в себе два окремих блоки екструдера, кожен з яких налаштовується на розміщення вихідного матеріалу незалежно один від одного. Кожен вузол екструдера містить відповідне сопло та відповідну систему подвійної подачі. Голівка також містить загальний приводний двигун, який приводить в рух обидві системи подвійної подачі та двох окремих вузлів екструдера.

Також існує технологія «IDEX» [3], у якій кожен екструдер може рухатися незалежно один від одного. Передбачено, що поки активний екструдер друкує, водночас інший екструдер розміщений поза зоною друку. В цій технології є два режими - дзеркала та режим дублювання. Дзеркальний режим друкує модель та інверсію цієї ж моделі одночасно. Режим дублювання

це синхронізований 3D друк, коли відбувається як друк однієї моделі, так і точної її копії одночасно.

Один із виробників 3D принтерів [4] підтримує до чотирьох друкувальних голівок. Але він має суттєвий недолік який полягає в тому що збільшується затрати часу на калібрування, через те що кожна друкуюча головка налаштовується окремо.

Вдосконалення конструкції 3D принтера полягає у встановленні двох друкуючих голівок на одну спільну каретку, що в свою чергу зменшує час на калібрування. Розміри каретки мають бути підібрані таким чином, щоб можна було максимально використати робочу поверхню 3D принтера. В такому випадку керуючі сигнали для двох двигунів будуть однаковими. Подальші дослідження мають бути направлені на вдосконалення методів калібрування та вдосконалення системи керування.

Список використаних джерел:

1. Chalupa, V., Stanek, M., Vanek, J., Strnad, J., & Ovsik, M. (2023). Design of Dual-Head 3D Printer. *Manufacturing Technology*, 23(2), 177–184. Retrieved from <https://journalmt.com/pdfs/mft/2023/02/15.pdf>
2. Bambu Lab. (2023). Filament feeding system and method for three-dimensional printers (WO2023086921A1). World Intellectual Property Organization. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/WO2023086921A1/en>
3. Modix. (n.d.). *IDEX Dual Printing - Big-Meter*. Retrieved April 19, 2025, from <https://www.modix3d.com/uk/product/idex-dual-printing-bigmeter/>
4. Monofilament. (n.d.). OrangeStorm Giga — новий FDM 3D-принтер промислового рівня Elegoo для масштабного друку. Retrieved April 19, 2025, from <https://monofilament.com.ua/ua/blog-novini-3d-druku-ta-additivnih-tehnologij/orangestorm-giga-novij-fdm-3d-printer-promislovogo-rivnja-elegoo-dlja-masshtabnogo-druku>

КОНСТРУКЦІЯ ДРУКУЮЧОЇ ГОЛІВКИ ДЛЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО 3D ДРУКУ

Крушельницький В.В., к.т.н., доц.

Лінник В.А., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Технологія 3D-друку FDM передбачає створення об'єктів шляхом пошарового нанесення матеріалу відповідно до цифрової тривимірної моделі. Для цього використовується пластиковий пруток, що подається у зону нагріву і наноситься у вигляді тонких шарів [1].

Попри широке використання, цей підхід має низку недоліків. Пластиковий пруток вбирає в себе вологу, погіршуючи свої характеристики, як матеріалу, так і процесу друку. Матеріал у вигляді пластикового прутка потребує наявності котушки, на яку він намотується, що разом займає місце і потребує правильного розташування котушки відносно принтера, це певною мірою ускладнює процес зберігання матеріалу.

Технологічний процес виготовлення пластикового прутка передбачає розплавлення гранул, у результаті чого витрачається електроенергія, крім того, доволі складно витримати однорідний діаметр. Це призводить до погіршення якості виготовлених деталей. Тому пошук альтернатив є актуальним. Однією з яких є подача гранул безпосередньо в екструдер. Таким чином можна пропустити процес виготовлення пластикового прутка, адже він передбачає використання тієї ж сировини у вигляді гранул [2]. Для цього на друкуючій голівці 3D принтера встановлюється ємність, з якої гранули потрапляють в екструдер. Такий екструдер складається із корпусу, шнека, крокового двигуна, нагрівача, датчика температури та сопла. В ньому гранули ущільнюються шляхом обертання шнека, розплавляються та видавлюються пошарово, як при класичному FDM 3D друці. Вартість друку з таким екструдером менша [3] і дає можливість використовувати вторинну сировину, полегшити зберігання та транспортування матеріалу. Також з'являється можливість змішування матеріалів та присадок під час друку. Крім того, можна змінювати тип гранул під час друку для створення об'єктів зі змінними властивостями (жорсткість, колір, провідність тощо) [4].

Конструкція такого екструдера має певні обмеження, зокрема об'єм видрукуюваних моделей обмежується ємністю бункера, тобто гранули потрібно

час від часу досипати. Інший недолік передбачає збільшення маси екструдера, в результаті чого швидкість друку буде обмежуватися прискореннями друкуючої голівки. Щоб забезпечити довготривалий безперервний друк без зупинок пропонується з'єднати ємність із самим екструдером за допомогою трубопроводу, а саму ємність наповнену гранулами розмістити стаціонарно. Таким чином маса гранул не буде впливати на сам процес 3D друку, об'єм видрукованих моделей буде обмежуватися тільки об'ємом самої ємності. В такому випадку можна здійснювати друк великих деталей безперервно. Такий спосіб можна застосувати наприклад для друку меблів, архітектурних елементів тощо.

Отже, використання запропонованої конструкції екструдера може забезпечити безперервний великогабаритний 3D друк. Подальші дослідження необхідно направити на спосіб переміщення гранул через трубопровід від ємності до самого екструдера.

Список використаних джерел:

1. Markforged. (n.d.). What is Fused Deposition Modeling (FDM)? Retrieved May 6, 2025, from <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-fused-deposition-modeling-fdm>
2. Madeleine P. (2021, December 29). How does 3D printing with pellets work? 3Dnatives. Retrieved April 6, 2025, from <https://www.3dnatives.com/en/how-does-3d-printing-with-pellets-work-291220214/>
3. Bitfab. (n.d.). Pellet Extruders for 3D Printing – Why Use Them and Which Ones Should I Buy. Retrieved April 6, 2025, from <https://bitfab.io/blog/pellet-extruders-3d-printing/>
4. Altıparmak, S. C., Yardley, V. A., Shi, Z., & Lin, J. (2022). Extrusion-based additive manufacturing technologies: State of the art and future perspectives. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 607–636. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.09.032>

ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ РОБОТИЗОВАНИМ БАШТОВИМ КРАНОМ

*Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.
Великоіваненко Д.І., аспір.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Оптимальне планування траєкторій руху вантажів є важливим завданням при використанні роботизованих баштових кранів, оскільки це безпосередньо впливає на безпеку, ефективність та економічність будівельних операцій. Особливо це актуально для висотного та модульного будівництва, де точність і швидкість переміщення вантажів мають критичне значення.

У роботі [1] розглядається задача багатоточкового планування траєкторій руху вантажів баштових кранів уздовж прямих ліній. Автори використовують оптимізаційні підходи, які дозволяють мінімізувати коливання вантажу та забезпечують високу точність позиціонування навіть у складних умовах експлуатації. Цей метод демонструє ефективність у реальному часі, хоча вимагає значних обчислювальних ресурсів.

В науковій роботі [2] запропонували підхід до оптимізації розташування баштових кранів для підйому важких модульних блоків при висотному будівництві. Дослідження з використанням генетичних алгоритмів дозволило скоротити час і ресурси на операції підйому, що підвищує загальну ефективність будівельного процесу. Однак автори зазначають необхідність подальших практичних перевірок.

У статті [3] дослідили проблему оптимізації траєкторії руху мостового крана з подвійним маятником та розподіленим вантажем. Автори запропонували методику з використанням еквівалентної довжини гнучкого підвісу, яка дозволяє значно знизити амплітуду коливань вантажу. Водночас вони відзначають необхідність додаткового врахування зовнішніх факторів для покращення точності в реальних умовах експлуатації.

Автори у роботі [4] розглянули задачу швидкісного планування траєкторій з уникненням перешкод для подвійного маятника кранів. Запропонований алгоритм дозволяє ефективно уникати перешкод, зберігаючи оптимальну швидкість та мінімізуючи час виконання операцій. Цей метод є особливо цінним для автоматизованих систем, де важлива оперативна реакція на зміни середовища.

Таким чином, оптимізація траєкторій руху вантажів у роботизованих баштових кранах активно досліджується з акцентом на підвищення точності, мінімізацію коливань та ефективне уникнення перешкод. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію цих підходів з урахуванням специфіки реальних експлуатаційних умов та обмежених ресурсів систем керування.

Список використаних джерел:

1. Burkhardt, M., Gienger, A., & Sawodny, O. (2024). Optimization-Based Multipoint Trajectory Planning Along Straight Lines for Tower Cranes. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 32(1), 290-297.
2. Hyun, H., Park, M., Lee, D., & Lee, J. (2021). Tower Crane Location Optimization for Heavy Unit Lifting in High-Rise Modular Construction. *Buildings*, 11(3), 121.
3. Wu, Q., Sun, N., & Wang, X. (2022). Equivalent Rope Length-Based Trajectory Planning for Double Pendulum Bridge Cranes with Distributed Mass Payloads. *Actuators*, 11(1), 25.
4. Zhang, W., Chen, H., Chen, H., & Liu, W. (2021). A Time Optimal Trajectory Planning Method for Double-Pendulum Crane Systems With Obstacle Avoidance. *IEEE Access*, 9, 13022-13030.

УДК 631.171:62-182

ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОСЛУГ З ВІДДАЛЕНОГО СЕРВІСУ ТА МОБІЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРОВИРОБНИКІВ

*Мельник В.І., к.е.н, доц.
Новицький А.В., к.т.н., доц.
Лісецький В.О., к.т.н., доц.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасний розвиток інформаційних технологій значно вплинув на підходи до обслуговування клієнтів у сфері агровиробництва. Віддалений сервіс та мобільне обслуговування стали невіддільною частиною ефективного управління технічним обслуговуванням машин. За визначення переліку передумов, що сприяли формуванню цих послуг можна виділити потреби у зниженні простоїв техніки, зростання мобільності користувачів,

запровадження інноваційних бізнес-моделей, розвиток цифрових технологій та телеметричних систем.

Однією з основних причин простою техніки поряд з недостатньою підготовкою персоналу, погодними умовами, неоптимальним управлінням визначається технічна несправність або відсутність запасних частин. Простої техніки в агровиробництві є однією з найбільш значущих проблем, які негативно впливають на продуктивність та економічну ефективність сільськогосподарських підприємств. Техніка, яка не працює, завдає підприємству збитків у вигляді втрати часу, затримки у виконанні робіт та підвищення витрат на ремонтування. Особливо критичною є ситуація в періоди пікових навантажень, таких як посівна та жнивна кампанії, коли кожна година простою техніки може призвести до значних втрат врожаю та доходів.

Простої техніки можуть мати серйозні економічні наслідки, а їх зниження – надзвичайно високу вагомість для аграрних підприємств з кількох причин. Зокрема скорочення тривалості простоїв підвищує продуктивність через забезпечення безперервності процесу виконання робіт, що є особливо важливим у згадані критичні періоди аграрного циклу. Підвищенню продуктивності через скорочення простоїв також сприяє максимізація використання ресурсів, оскільки саме ефективне використання техніки сприяє максимальному використанню наявних ресурсів підприємства. Поряд з цим віддалений сервіс та мобільне обслуговування дозволяють швидко реагувати на несправності та відмови, які мінімізують час простою та забезпечують безперервну роботу техніки. Це особливо важливо в періоди інтенсивних польових робіт, коли кожна година простою може призвести до значних втрат.

Основними причинами зростання мобільності користувачів аграрної техніки став технічний прогрес, що проявився у вдосконаленні транспортних засобів та спеціальної техніки, впровадженні новітніх технологій, наприклад, таких як GPS-навігація та телеметрія, а також традиційні характеристики агровиробництва, якими є необхідність виконання робіт на великих територіях та необхідність швидкого переміщення техніки між ділянками. До переліку цих причин також можна долучити економічний аспект через потребу в оптимізації витрат на обслуговування техніки та підвищення ефективності її роботи.

Збільшення мобільності користувачів і поширення мобільних пристроїв, таких як смартфони та планшети, зробило можливим забезпечення послуг з обслуговування в будь-який час і в будь-якому місці. Клієнти можуть отримувати необхідну технічну підтримку та консультації без потреби відвідувати сервісні центри, що економить час та ресурси.

Інноваційні бізнес-моделі в агровиробництві стають визначальним фактором для підвищення ефективності та конкурентоспроможності аграрних підприємств у сучасних умовах. Традиційні підходи до ведення агробізнесу вже не відповідають викликам сьогодення та потребам ринку, тому виникає необхідність впровадження нових, більш гнучких та адаптивних моделей управління, які включають використання віддаленого сервісу та мобільного обслуговування технічних засобів.

Основними характеристиками таких моделей управління стають гнучкість та адаптивність, що виявляється у можливості швидко адаптуватись до змін у ринкових умовах та зосереджуватись на впровадженні нових технологічних рішень, як то використання мобільних додатків та віддалених сервісів для забезпечення оперативного обслуговування техніки. Також фокусування на клієнта передбачає орієнтування на потреби та очікування клієнтів, надання високоякісних послуг з обслуговування техніки з використанням інтерактивних інструментів для комунікації з клієнтами, включаючи чат-боти, онлайн-консультації та підтримку. Ще одним напрямом є встановлення інноваційних партнерств, що передбачає співпрацю з технологічними компаніями та стартапами для впровадження передових рішень, запровадження партнерських програм з постачальниками обладнання та сервісними компаніями.

Сучасні бізнес-моделі, орієнтовані на максимальне задоволення потреб клієнтів, стимулюють впровадження нових підходів до обслуговування через впровадження цифрових технологій. Конкуренція на ринку вимагає від компаній надання високоякісних та оперативних послуг. Віддалений сервіс та мобільне обслуговування дозволяють компаніям забезпечувати індивідуальний підхід до кожного клієнта та підвищувати рівень його задоволеності.

Швидкий розвиток цифрових технологій, таких як інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), хмарні обчислення та мобільні додатки, створив нові можливості для забезпечення віддаленого та мобільного обслуговування. Ці технології дозволяють здійснювати моніторинг, діагностику та управління технікою в реальному часі, що значно підвищує ефективність та швидкість реагування на потреби клієнтів. Ефективність експлуатації та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки завжди знаходилась на чільному місці пріоритетних завдань інженерної служби аграрного підприємства. Цим і пояснюється така зацікавленість та швидкість запровадження телеметричних систем, які дозволяють здійснювати дистанційний моніторинг та контроль техніки в режимі реального часу. Це значно підвищує ефективність технічного обслуговування та експлуатації

сільськогосподарських машин. Такі системи передбачають встановлення датчиків на техніці, які збирають інформацію про різні параметри її роботи: температуру; тиск; швидкість; рівень палива тощо, і передають ці дані на віддалений сервер для подальшого аналізу. Телеметричні системи дозволяють збирати, аналізувати та передавати дані про стан та роботу техніки у віддаленому режимі. Це забезпечує постійний моніторинг стану машин та дозволяє виявляти потенційні проблеми до їх виникнення. Використання таких систем моніторингу стану технічних засобів сприяє підвищенню надійності технічного обслуговування та зниженню витрат на їх ремонтування та підтримку. Окрім іншого, слід звернути увагу на економічні вигоди запровадження таких інновацій. Їх можна розглядати через призму зниження витрат на ремонтування завдяки своєчасному виявленню та усуненню несправностей та оптимізацію експлуатаційних витрат завдяки підвищенню ефективності використання техніки та зниженню витрат на паливо та інші ресурси. Загалом запровадження телеметричних систем є однією з ключових передумов формування послуг з віддаленого сервісу та мобільного обслуговування, оскільки вони забезпечують підвищення ефективності технічного обслуговування, оптимізацію використання техніки, покращення безпеки, підвищення якості обслуговування клієнтів та економічні вигоди.

Отже, формування послуг з віддаленого сервісу та мобільного обслуговування стало можливим завдяки розвитку цифрових технологій, зростанню мобільності користувачів, потребі у зниженні простоїв техніки, інноваційним бізнес-моделям та розвитку телеметричних систем. Ці передумови створили нові можливості для ефективного управління технічним обслуговуванням та підвищення рівня задоволеності агровиробників у сфері технічного сервісу.

УДК 631.363-049.32

ПРЕДИКТИВНЕ ТА ПРЕВЕНТИВНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗМІШУВАЧІВ-КОРМОРОЗДАВАЧІВ

Новицький А.В., к.т.н., доц.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Підвищення прибутковості тваринницьких ферм аграрних підприємств та фермерських господарств за рахунок збільшення кількості голів худоби

вимагає використання засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК), які можуть поєднувати кілька операцій, включаючи завантаження, транспортування, подрібнення, змішування, роздавання та дозування кормів [1].

Змішувачі-кормороздавачі є важливими агрегатами у системі годівлі рогатої худоби. Як зазначають автори статті [2], для приготування і роздачі кормів на фермах в залежності від поголів'я худоби використовують: малопродуктивну техніку з енергетичним приводом і частковим виконанням ручних операцій; змішувачі-кормороздавачі, механізовані лінії з використанням стаціонарних машин з енергетичним приводом і навантажувачів; мобільні та самохідні ЗПРК. Від ефективності використання та надійності ЗПРК залежить ритмічність технологічного процесу годівлі та продуктивність тварин.

Метою досліджень є вибір ефективної стратегії технічного обслуговування з метою забезпечення їх працездатності.

Зазначені дослідження мають важливе значення для підтримання високої продуктивності тваринницької галузі аграрних підприємств. Основними причинами, які вказують на необхідність обґрунтування відповідної стратегії технічного обслуговування є робота в агресивному середовищі, нерівномірність навантаження при подрібненні та змішуванні кормів, підвищена частота циклів запуску та зупинки механізмів.

Проведемо огляд стратегій технічного обслуговування ЗПРК, які набувають використання в останні роки. Особливе значення в системі забезпечення працездатності займають превентивне обслуговування (Preventive Maintenance, PM) та предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance, PdM). Превентивне обслуговування виконується за календарним планом або відповідно до наробітку (мото-год.; год.; км), але не враховує фактичний стан вузлів. Превентивне обслуговування є традиційною стратегією, яка орієнтована на регулярне обслуговування згідно з визначеними інтервалами та з передбачуваним зносом. Тобто PM застосовується в системах, в яких знос компонентів має постійний і передбачуваний характер, що дозволяє оптимізувати графіки робіт з технічного обслуговування.

Предиктивне обслуговування базується на постійному моніторингу стану вузлів та робочих органів за допомогою сенсорів. PdM стратегія використовує аналітику даних, IoT-рішення та моделі втрати працездатності для прогнозування майбутніх відмов. Предиктивне обслуговування дозволяє виконувати обслуговування лише тоді, коли є обґрунтований ризик відмови. Ця стратегія фокусується на зборі та аналізі даних для своєчасного виявлення

потенційних відмов, що дозволяє мінімізувати витрати на обслуговування і забезпечити більш тривалу безвідмовну роботу обладнання.

Дослідження показують, що більшість відмов у змішувачах-кормороздавачах пов'язані з механізмом подрібнення-змішування, гідравлічними системами та приводами. За даними наукових статей [1, 3], найбільше навантаження зазнають складові механізму подрібнення-змішування, включаючи ножі та шнеки змішувачів-кормороздавачів, особливо при роботі з важкими кормовими сумішами. Автори досліджень, включаючи [3, 4], акцентують увагу на необхідності забезпечення надійності на всіх етапах життєвого циклу виробу, тобто визначенню вимог в процесі проєктування, дослідження, розробки, виробництва, монтажу, експлуатації та утилізації. Окремі дослідники обґрунтовують необхідність дослідження змішувачів-роздавачів з позиції обґрунтування параметрів та удосконалення їх конструкції [5, 6].

Результати досліджень свідчать про доцільність впровадження комбінованої стратегії: для критично навантажених та складних вузлів – предиктивне обслуговування PdM, тоді як для простіших елементів доцільно залишити превентивне обслуговування РМ. Проблемами впровадження PdM є потреба в початкових інвестиціях, навчанні персоналу та цифровій інфраструктурі, однак довгострокова ефективність та зменшення аварійних відмов виправдовують ці витрати.

Комбіноване застосування РМ та PdM стратегій дозволяє врахувати економічну доцільність обслуговування окремих вузлів, що забезпечує як надійність, так і ефективність експлуатації. Застосування PdM дозволяє зменшити витрати на ремонт, підвищити термін служби змішувачів-роздавачів кормів та уникнути незапланованих простоїв. Структурний підхід до аналізу систем змішувачів-роздавачів дозволяє оптимізувати резервування критичних компонентів, включаючи робочі органи. Зокрема, впровадження подвійних сенсорних модулів у критичних вузлах може суттєво знизити ризик непередбачених відмов.

Науковий та практичний інтерес представляють наукові дослідження в яких представлено використання системного аналізу та аналітичних методів досліджень для забезпечення надійності ЗПРК як складних технічних систем [7, 8]. Інший важливий напрям – обґрунтування впливу ремонтно-обслуговуючих дій [6, 7].

Список використаних джерел:

1. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), pp. 101-110. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101>.
2. Khmelovskiy, V., Otchenashko, V., Voloshyn, S., & Pinchevska, O. (2020). [Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms](#). In *Engineering for rural development* (pp. 778-783). Jelgava, Latvia.
3. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Yu., Kharkovskiy, I., & Antal, M. (2024). Examination of maintainability indicators of feed preparation and distribution products. *Machinery & Energetics*, 15(4), pp. 47–57. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.47>.
4. Alena Breznická, Marcel Kohutiar, Michal Krbaťa, Maroš Eckert, Pavol Mikuš. (2023). Reliability Analysis during the Life Cycle of a Technical System and the Monitoring of Reliability Properties. *Systems* 2023, 11(12), 556; <https://doi.org/10.3390/systems11120556>
5. Loveikin, [V.](#), [Khmelovskiy, V.](#), [Lukach, V.](#), & [Achkevych, V.](#) (2022). [Improving efficiency of mobile combined feed mixer](#). In *Engineering for rural development* (pp. 853-859). Jelgava, Latvia.
6. Fuyang, T., Yuhua, C., Zhanhua, S., & Yinfa, Y. (2020). Finite element simulation and performance test of loading and mixing characteristics of self-propelled total mixed ration mixer. *Journal of Engineering*, 12, (pp. 1-15). [doi: 10.1155/2020/6875816](https://doi.org/10.1155/2020/6875816).
7. Novitskiy, A., Banniy, O., & Novitskiy, Yu. (2023). Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder. *Machinery & Energetics*, 14(1). pp. 57–67. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.57>
8. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., ... & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 (3 (127)). P. 37–46. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13874>.
9. Новицький А. В. Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки / А. В. Новицький // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. - 2022. - Вип. 6(1). - С. 134-143. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znppkntu_2022_6\(1\)_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znppkntu_2022_6(1)_19).

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ВИРОБНИЦТВО ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Попик П.С., к.т.н., доц.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Енергозберігаючі технології виробництва зернових культур передбачають мінімізацію обробітку ґрунту при високій науково-обґрунтованій культурі землеробства та раціональному використанні ресурсів (ґрунтових, водних, енергетичних, біологічних, фінансових і трудових). Такі технології включають в себе мінімальний і нульовий обробіток ґрунту, які базуються на проведенні мульчуватого або прямого посіву. Існуючі традиційні технології виробництва зернових культур характеризуються досить високими трудомісткостями і витратами енергії, підвищеним навантаженням на ґрунт та втратою родючих ґрунтових ресурсів. Все це призводить до необхідності застосування енергозберігаючих технологій при виробництві зерна.

При проведенні посіву зернових культур необхідно створити оптимальні умови для проростання насіння і розвитку кожної рослини, тобто забезпечити їх необхідною кількістю поживних речовин, вологи, світла, повітря і тепла в оптимальних пропорціях. Цього можна досягти, застосовуючи підґрунтово-розкидний посів. Здійснюється він як правило, посівними машинами з лаповими сошниками, в підсошниковому просторі яких встановлено розподільник насіння, що розміщує посівний матеріал на дні борозни по всій ширині захоплення лапи. Крім того, такі посівні машини при вирощуванні зернових культур дозволяють поєднати до п'яти технологічних операцій, знизити витрати праці, енергії, вплив вітрової та водної ерозії ґрунтів, а також скоротити терміни проведення посівної кампанії.

Ефективність такого посіву полягає в значному зниженні енерговитрат за рахунок відмови від оранки і передпосівного обробітку ґрунту. Для створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин необхідні посівні агрегати, які б виконували якісний посів.

Незважаючи на свої переваги, посівні машини для підземного-розкидного посіву насіння зернових культур мають і недоліки, які проявляються в недостатній рівномірності розподілу насіння по площі розсівання на заданій глибині, забиванні підсошникового простору ґрунтом, рослинними рештками і посівним матеріалом.

Проведений аналіз посівних машин показує, що сівалки які випускаються вітчизняними виробниками не здатні якісно висівати насіння при наявності стерні на полі, а це вимагає застосування додаткових пристроїв або додаткових проходів агрегатів по полю. Зарубіжна промисловість випускає досить дорогі сівалки, більшість з яких не забезпечує виконання агротехнічних вимог, прийнятих в нашій країні. Також вони нерентабельні в експлуатації. Всі ці недоліки продукції, що випускається посівної техніки призводять до збільшення витрат на посів і зниження врожайності.

На підставі вищевикладеного розробка сівалки для посіву зернових культур по стерньовому фоні є актуальною і важливою задачею, рішення якої внесе значний вклад в розвиток, як сільського господарства, так і економіки країни в цілому.

Список використаних джерел:

1. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Shvidia V.O., Stepanenko S.P. Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH: Agricultural Engineering, 2019, vol. 57, pp. 141-146, Bucharest, Romania.
2. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018, vol. 5, no. 1 (95). pp. 46-53.

УДК 62-242.3

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ

Попик П.С., к.т.н., доц.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Надійність машинно-тракторного парку агропромислового комплексу багато в чому визначається працездатністю вузлів тертя сучасних конструкцій ґрунтообробної та посівної техніки, в складі якої є високонавантажені підшипники ковзання типу «втулка» з обмеженим ресурсом, що лімітує експлуатаційні можливості всього технічного об'єкта. Підвищення

працездатності вузлів тертя сільськогосподарської техніки є першочерговим завданням машинобудівного і ремонтного виробництва.

Одним з важливих напрямків підвищення ефективності використання матеріальних і трудових ресурсів є широке застосування полімерних матеріалів і композицій на їх основі, дослідження і вдосконалення технологічних процесів підготовки і нанесення антифрикційних зносостійких покриттів. За даними численних досліджень полімери дозволяють знизити трудомісткість ремонту машин на 25-30%, собівартість робіт на 12-18%, скоротити витрату чорних і кольорових металів на 45-50%.

Технологічні служби ремонтних підприємств, які ремонтують і виготовляють сільськогосподарську техніку з метою підвищення довговічності виробів і економії матеріалів зацікавлені в розробці нових технологічних процесів, що дозволяють ефективно відновлювати зношені і виготовляти нові деталі з високим ресурсом.

Використання в парах тертя антифрикційних полімерних композицій дозволяє отримувати дещо інші закономірності зношування - кращі в триботехнічному відношенні. Нанесення тонкого полімерного покриття на металеві поверхні тягне за собою зміну в певній мірі характеру машинобудівного виробництва і технології подальшого ремонту, роблячи їх більш досконалими, ефективними, економічно вигідними.

У той же час треба зазначити, що безперервне зростання навантажень, швидкостей, температури, ускладнення умов експлуатації вузлів тертя вимагають постійного покращення властивостей антифрикційних матеріалів (покриттів). Поряд із зносостійкістю створювані покриття повинні мати і високу адгезію до основи. Проте, багаторічний досвід застосування полімерних композицій вказує на те, що позитивні властивості полімерних покриттів обмежені недостатньо високою адгезійною міцністю з основою (металевої деталлю), що різко скорочує ресурс вузла тертя і машини в цілому.

У зв'язку з вищесказаним стає очевидним, що для підвищення довговічності вузлів тертя машин при ремонті та їх виготовленні необхідна розробка методів щодо вдосконалення технології формування покриттів на етапі підготовки металевої поверхні, а також створення полімерних покриттів, що ініціюють режим виборчого перенесення матеріалів при терті шляхом фізичної і хімічної модифікації полімерної матриці за участю наповнювачів у вигляді нанорозмірних порошків.

Список використаних джерел:

1. Мельник В.І. Ружило З.В., Мельник В.І., Новицький А.В., Ревенко Ю.І., Бистрий О.М., Попик П.С. Надійність машин та обладнання.

Ремонтування машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 313 с.

2. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Shvidia V.O., Stepanenko S.P. Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH: Agricultural Engineering, 2019, vol. 57, pp. 141-146, Bucharest, Romania.

УДК 631.348.46

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ПОСІВНИХ МАШИН ТОЧНОГО ПОСІВУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Банний О.О., к.т.н., доц.

Михайлюк О.О., аспір.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Вступ. Посівні машини точного висіву відіграють ключову роль у формуванні врожаю просапних культур, зокрема кукурудзи. Якість і рівномірність розміщення насіння безпосередньо впливають на своєчасність сходів та продуктивність посівів. Якість і рівномірність розміщення насіння безпосередньо впливають на своєчасність сходів та продуктивність посівів. Забезпечення високої точності висіву потребує надійної роботи висівних апаратів у польових умовах. Відмова або нестабільна робота висівного апарату призводить до пропусків і двійників (нерівномірності сівби), що зрештою знижує врожайність і порушує агротехнічні вимоги. Тому експлуатаційна безвідмовність висівних апаратів – їхня здатність стабільно працювати без відмов протягом необхідного періоду – є надзвичайно актуальним показником при проектуванні та використанні сівалок точного висіву. Забезпечення високої безвідмовності особливо важливе для сучасних високопродуктивних посівних агрегатів, які працюють у складних умовах (пил, волога, вібрації тощо) та на підвищених швидкостях висіву.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування параметрів експлуатаційної безвідмовності висівних апаратів сівалок точного висіву (на прикладі висіву кукурудзи), тобто визначення таких конструктивно-технологічних та режимних характеристик, які забезпечують високу

ймовірність безвідмовної роботи апарату при дотриманні вимог точності сівби. Для досягнення цієї мети проаналізовано фактори, що впливають на надійність роботи висівних апаратів, розроблено підходи до оцінки їх безвідмовності та визначено раціональні параметри, які мінімізують ризик відмови в експлуатації.

Основні результати і обґрунтування параметрів безвідмовності. На надійність висівного апарату впливають як конструктивні особливості, так і режими роботи та умови експлуатації. Сучасні апарати точного висіву бувають механічного та пневматичного типу [3]. Механічні висівні пристрої (дискові, пальчикові тощо) простіші за будовою і на середніх швидкостях забезпечують достатньо надійний висів. Водночас зі збільшенням швидкості руху сівалки надійність їх роботи істотно знижується. Дослідження показують, що при швидкостях понад ~8 км/год традиційні механічні висівні апарати не забезпечують належної точності сівби, виникають пропуски та двійники, що обмежує застосування цих апаратів на високошвидкісних посівних комплексах [4]. Пневматичні висівні апарати дозволяють досягти точного висіву на більших швидкостях, але вони більш чутливі до умов експлуатації. Для їх стабільної роботи потрібні якісна герметизація і точність виготовлення деталей, адже вібрація та удари під час руху по полю можуть порушувати герметичність системи подачі повітря і спричиняти збої у висіві [3]. Таким чином, під час розробки параметрів безвідмовності слід враховувати граничні швидкості висіву для конкретної конструкції апарату, а також вплив вібрацій та інших динамічних навантажень на його роботу. В полі висівні апарати працюють у жорстких умовах: коливання температур і вологості, запиленість, корозійні середовища від добрив, значні вібрації і ударні навантаження від нерівностей ґрунту, періодичні пуски й зупинки агрегату тощо. Сукупність цих факторів призводить до прискореного спрацювання деталей і підвищує ймовірність відмов[2]. Зокрема, основними вузлами ризику є: механізми дозування насіння (диски з отворами, висівні пластини, пальці захоплення тощо), ущільнювачі та прокладки пневмосистем, приводні елементи (ланцюги, редуктори або електродвигуни) та датчики контролю. Досвід експлуатації показує, що за несприятливих умов ресурсу стандартних вузлів може не вистачати навіть на один повний сезон сівби. Наприклад, фрикційна пара диск – прокладка у пневматичному висівному апараті нерідко спрацьовується раніше закінчення сезону, що призводить до зниження розрідження і порушення рівномірності висіву. Внаслідок цього на окремих площах спостерігаються зріджені посіви або скупчення рослин, тобто відхилення від агротехнічних вимог. Для підвищення безвідмовності конструктори обґрунтовують використання зносостійких матеріалів та

спеціальних покриттів. Зниження інтенсивності зносу рухомих пар тертя досягається застосуванням антифрикційних покриттів – наповненням матеріалу прокладок твердими мастильними включеннями (графіт, сульфід металів тощо), що створюють самозмащувальну плівку на поверхні і тим самим збільшують ресурс роботи вузла. Дослідним шляхом встановлено, що модернізація ущільнювальних прокладок таким чином дає змогу підвищити їх довговічність і уникнути передчасних відмов у роботі висівного апарату. Окрім матеріалів, на безвідмовність впливає правильність технологічних налаштувань. Підбір оптимального розрідження (для вакуумних систем) або частоти обертання висівного диска під розмір насіння мінімізує перевантаження механізмів і запобігає їх ненормальному зносу. Недотримання налаштувань (наприклад, завищений тиск вакууму або надто висока швидкість обертання диска) може підвищити навантаження на апарат і зменшити час до відмови.

Для обґрунтування параметрів безвідмовності застосовуються як теоретичні, так і експериментальні підходи. Теорія надійності дозволяє кількісно описати імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ висівного апарату протягом часу t або на напрацювання (*га* посіву) до відмови. Як цільовий показник може розглядатися середнє напрацювання на відмову апарата, яке повинно перевищувати тривалість одного посівного сезону чи певний обсяг посівних робіт з потрібною довірчою ймовірністю. Експериментально надійність визначають випробуваннями на довговічність – як в натурних умовах, так і прискореними методами. Зокрема, для оцінки ресурсу приводів висівних апаратів використано прискорені випробування електродвигунів постійного струму з урахуванням реальних навантажень і умов (вібрації, пил тощо)[2]. За допомогою такого методу дослідники отримали статистичні дані про виникнення характерних відмов двигуна та спрогнозували час безвідмовної роботи вузла[2]. Подібні підходи можуть бути застосовані і до механічних компонентів дозувального апарату – прискорені лабораторні циклічні випробування (на стендах) з імітацією навантажень дозволяють виявити “слабкі місця” конструкції і внести зміни в параметри апарату ще на етапі проектування. Так, шляхом моделювання руху насінини у висівному апараті та сил, що на неї діють, було обґрунтовано раціональні режими роботи дозувального механізму [1]. Зокрема, встановлено оптимальну відстань між насіниною і коміркою дозатора та тривалість їх взаємодії, за яких забезпечується стабільне захоплення одиничного насіння без відмов (пропусків) [1]. В результаті впровадження таких науково обґрунтованих параметрів вдалося підвищити імовірність формування регулярного

однозернового потоку насіння (тобто точність висіву) на рівень понад 97% [2] при збереженні безвідмовної роботи апарату в заданому діапазоні швидкостей.

Список використаних джерел:

1. Попик П. С. Адаптивність надійності висівного апарата з дозатором направленої дії як напрямок ресурсозбереження // Техніка та енергетика, 2020. – Т. 11, № 3. – С. 163–171.
2. Wen C., Zhang J., Zheng K. et al. Accelerated verification method for the reliability of the motor drive mechanism of the corn precision seed-metering device // Computers and Electronics in Agriculture, 2023. – Vol. 212. – Article No. 108163.
3. Xiong D., Wu M., Xie W., Liu R., Luo H. Design and Experimental Study of the General Mechanical Pneumatic Combined Seed Metering Device // Applied Sciences, 2021. – 11(16). – P. 7223.
4. DONG J., GAO X., ZHENG Z., ZHAO P., BI Y., HUANG Y. Design and testing of a posture-adjusting precision metering device for high-speed maize planting // Frontiers in Plant Science. 2025. Vol. 16. Article No. 1458597.

УДК 624.045.12

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РИГЕЛЯ З ПОШКОДЖЕННЯМИ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ

¹Мар'єнков М.Г., д.т.н., с.н.с

¹Яковенко І.А., д.т.н., проф.

²Олексійчук О.В., інж.

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
²*ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»*

Метою досліджень є експериментально-теоретичне обґрунтування можливості безпечної експлуатації залізобетонного ригеля перекриття, який було пошкоджено під час монтажу. За результатами візуальних обстежень в опорної частині ригеля було виявлено тріщини (рис. 1).

Конструкція L -подібного ригелю має довжину $L = 5,5\text{ м}$, спирається на дві консолі колон. Довжина спираючої частини складає 200 мм. Розрахункова довжина ригелю становить $l_0 = 5,3\text{ м}$.

Конструкція ригелю виготовлена з важкого бетону класу С35/45 (розрахункова міцність бетону на стиск $f_{cd} = 25 \text{ МПа}$, розрахункова міцність бетону на розтяг $f_{ctd} = 1,47 \text{ МПа}$, середній початковий модуль пружності $E_{cm} = 37500 \text{ МПа}$; $E_{cd} = 30500 \text{ МПа}$, $\varepsilon_{cl,cd} = 1,80 \times 10^{-3}$) [1–5].



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд опорної зони ригеля перекриття з тріщинами

Щодо спрощення розрахунку приймається зведений прямокутний переріз із розмірами $b \times h = 350 \text{ мм} \times 600 \text{ мм}$, при цьому звисаюча полиця у подальшому розрахунку не враховується.

У перерізі 5-5 (середина прогону), прийняте наступне армування та позначення (у відповідності з рис. 2):

→ поздовжнє робоче армування у нижній, розтягнутій зоні перерізу – $2\text{Ø}16\text{A}500\text{C}$ (розрахункове значення опору арматури на розтяг становить $f_{yd} = 435 \text{ МПа}$, характеристичне значення – $f_{yk} = 500 \text{ МПа}$, модуль пружності $E_s = 210000 \text{ МПа}$), $A_{s1} = 4,02 \text{ см}^2$; попередньо напружена арматура – $5\text{Ø}12,5\text{Y}1860\text{S}7$, $A_{p1} = 5 \times 0,93 \text{ см}^2 = 4,65 \text{ см}^2$ (характеристичне значення опору арматури на розтяг становить $f_{pk} = 1860 \text{ МПа}$, модуль пружності $E_p = 195000 \text{ МПа}$, $f_{p0,1k} = 1634 \text{ МПа}$).

→ поздовжнє конструктивне армування у верхній, стиснутій зоні перерізу – $3\text{Ø}16\text{A}500\text{C}$, $A_{s2} = 6,03 \text{ см}^2$; попередньо напружена арматура – $1\text{Ø}12,5\text{Y}1860\text{S}7$, $A_{p2} = 1 \times 0,93 \text{ см}^2 = 0,93 \text{ см}^2$.

→ поперечне конструктивне армування прийнято $2\text{Ø}10\text{A}500\text{C}$, $A_{sw} = 1,57 \text{ см}^2$ з кроком 110 мм на опорах, 165 мм у чвертях прогону та 200 мм у середній частині ригеля.

Відстані від центру відповідного армування до граней: $a_{s1} = 40\text{мм}$; $a_{s2} = 40\text{мм}$; $a_{p1} = 50\text{мм}$; $a_{p2} = 50\text{мм}$.

Фактична міцність бетону в середині прогону ригелю та на опорній ділянці з пошкодженнями, а також глибина тріщин прийнято за результатами неруйнівного контролю, який було виконано в ДП НДІБК за допомогою сертифікованих приладів.

За результатами попереднього розрахунку ригелю за несучою здатністю, прийнято армування, показане на рис. 2.

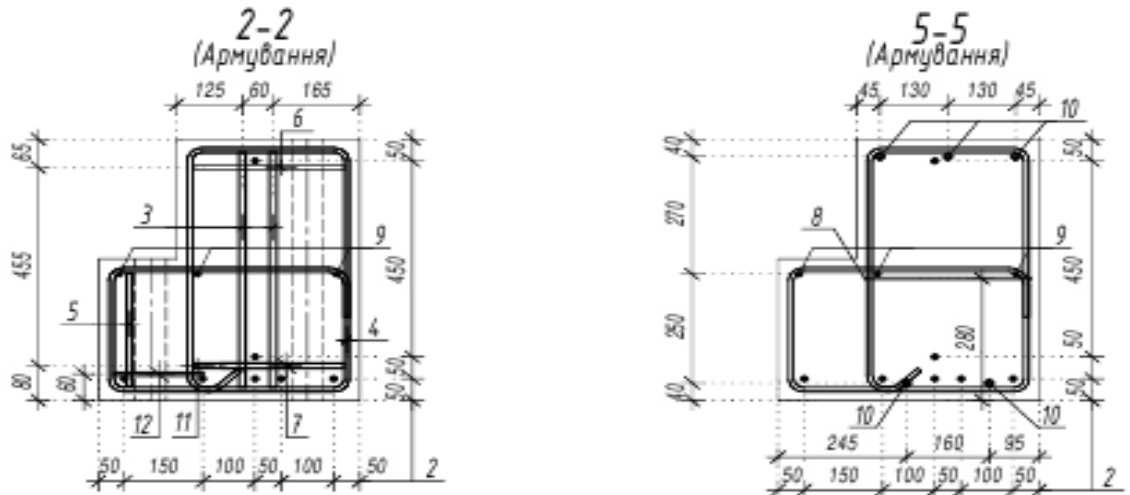


Рисунок 2 – Геометричні характеристики та армування конструкції L-подібного залізобетонного ригеля

За розрахунком несучої здатності ригелю на опорі отримано, що крок хомутів на опорі (у зоні дії максимального значення поперечної сили) має становити 160 мм. За проектом крок поперечної арматури складає 110 мм, що забезпечує міцність конструкції ригеля за похилими перерізами у приопорній зоні.

За результатами перевірних розрахунків перерізу ригеля перекриття можна зробити **наступні висновки**:

→ міцність попередньо напруженої арматури (6Ø12,5) складає $F = 6 \times 152 \text{ кН} = 912 \text{ кН}$, що в 1,8 рази перевищує зусилля попереднього обтиснення з урахуванням усіх втрат $P_2 = 518,3 \text{ кН}$;

→ за розрахунком крок хомутів на опорі (у зоні дії максимального значення поперечної сили) має становити 160 мм. За проектом крок хомутів на опорі складає 110 мм, що забезпечує міцність конструкції ригеля за похилими перерізами у приопорній зоні;

→ за розрахунком крок поперечних хомутів у прогоні ригеля має становити не менше ніж 320 мм. За проектом найбільший крок поперечних хомутів становить 200 мм, що відповідає розрахунковому значенню;

→ розрахунки підтвердили, що міцність залізобетонного перерізу конструкції ригеля на дію крутного моменту забезпечена із досить вагомим запасом.

За результатами візуального та інструментального обстеження, перевірних розрахунків рекомендована подальша експлуатація ригеля перекриття при дії проектних навантажень (15 кН/м^2).

Щодо забезпечення довговічності та подальшої безпечної експлуатації ригеля перекриття в осях 7-8/Е необхідно виконати захист арматури від можливого впливу навколишнього середовища. Рекомендується виконати ремонт опорної ділянки ригеля з тріщиною у такій послідовності:

- поверхню «старого» бетону в місцях розташування тріщин ретельно очистити, зробити насічку;
- виконати пошарове нанесення торкретбетону (два шари не менше ніж 15 мм, кожен наступний шар наносити після зчеплення попереднього) та догляд за твердіючим бетоном;
- поверхню останнього шару торкретбетону розрівняти і ретельно затерти.

Також необхідно перевірити стан гумової прокладки та відповідність проекту її розташування під ригелем на консолі колони.

Список використаних джерел:

1. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
2. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції : будівлі, споруди та їх частини: підручник. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2016. – 284 с.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).
4. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6–98:2009. – [Чинний з 2011-07-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми).
5. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6–98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01–84* і EN 1992–1–1 (Eurocode 2)/ В.М. Бабаєв, А.М. Бамбура, О.М. Пустовойтова та ін. ; за заг. ред. В.С. Шмуклера. – Харків : Золоті сторінки, 2015. – 208 с.

6. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд: ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 312 с.

УДК 72.012:629.48.631.3

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ЗБІРНОГО БАГАТОПРОЛЬОТНОГО ЗІЛІЗОБЕТОННОГО КАРКАСУ БУДІВЛІ

Бакулін Є.А., к.т.н, доц.

Коцупал Є.О., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Найважливішим етапом рішення задач поставлених задач є складання розрахункової схеми конструкції каркасу. Заміна початкових конструкції сукупністю дискретних елементів, що має на увазі рівність енергій конструкції і її дискретної моделі. Будівельні конструкції каркасу будівлі є багатопроектні просторові рами, що складається зі збірних залізобетонних конструкцій.

Для виконання розрахунків конструкцій на міцність була розроблена модель з використанням чисельного методу досліджень – методу скінченних елементів яка була реалізована в програмному комплексі (ПК) Structure CAD “SCAD” (версія 7.31 під WINDOWS версія 10).

Сучасна інженерна практика спирається на норми проектування, в яких, регламентовано використання спрощених розрахункових моделей об'єктів на основі гіпотез будівельної механіки стрижневих систем.

Багатопроектна, просторова рама моделювалася елементами просторового стрижня (КС типу 10). Розрахунок зроблений без урахування роботи основи. Для колон прийнято жорстке заземлення на рівні низу сталевого фундаменту. Загальний вигляд скінчено-елементної моделі приведено на рис. 1.

Основним матеріалом залізобетонних конструкцій каркасу будівлі є бетон класу C25/30, модуль пружності $E = 30.6 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,2$. Щільність важкого бетону прийнято рівною $\rho_b = 2500 \text{ кг/м}^3$. Конструкція світового ліхтаря виконані з залізобетону.

Геометричні та фізико-механічні характеристики перерізів стрижневих кінцевих елементів відповідають реальним перерізам елементів залізобетонної рами та ведені до табл. 1.

Розрахункові навантаження на каркас будівлі визначалися згідно діючих Норм розрахунку та проектування. При цьому розрахунок робився на власну вагу конструкцій каркасу, корисне навантаження, навантаження кранів, вітрове, снігове завантаження і комбінацію цих завантажень.

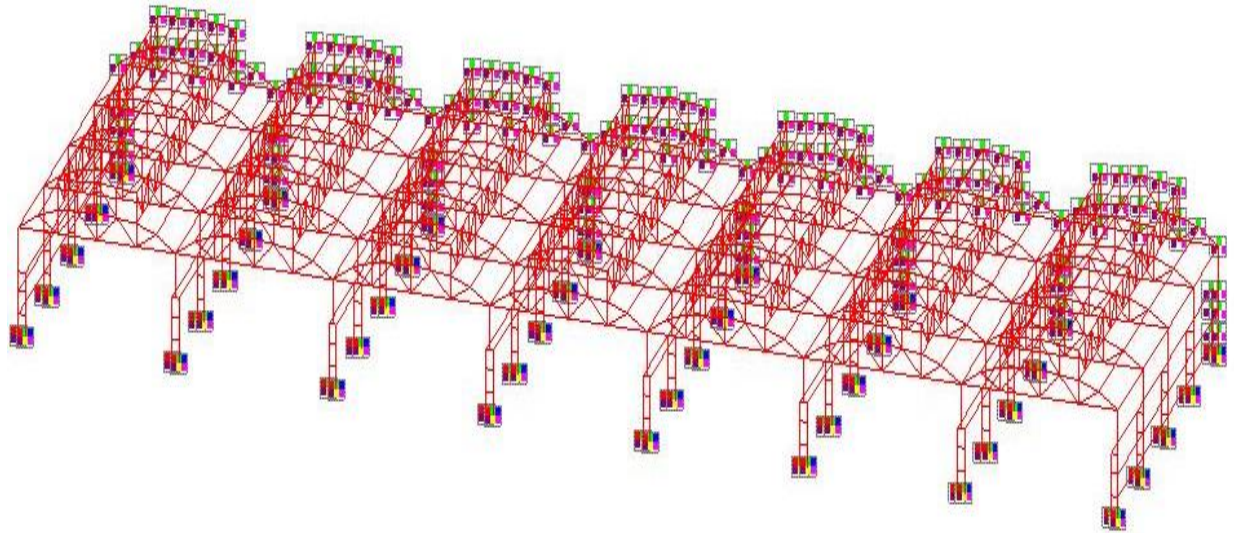


Рисунок 1 – Загальний вигляд скінчено-елементної моделі багатопроегного каркасу будівлі

Таблиця 1

Геометричні та фізико-механічні характеристики конструктивних елементів

Тип жор.	Геометричні характеристики							
	b	h	EF	EI_Y	EI_Z	GKR	GFY	GFZ
1	20	15	91800	172.12	306	155,14	30600	30600
2	"L70x10"		27531	19.22	5.1	0.31	8471	8471
3	300	10	918000	-	-	-	-	-
5	30	36	330480	3569.2	2478.6	2044.6	110160	110160
6	30	30	275400	2065.5	2065.5	1388	91800	91800
7	60	60	1101600	33048	33048	22208.25	367200	367200
8	25	50	382500	7968.7	1992	2252.5	127500	127500
9	30	50	459000	9562.5	3442.5	3576.5	153000	153000
10	50	40	612000	8160	12750	6980.6	204000	204000
12	50	75	1147500	53789	23906	23375	382500	382500

Крім того, розрахунок виконувався на комбінацію завантажень (табл. 2).

У результаті розрахунку були отримані переміщення вузлів розрахункової моделі по напрямку осей основної системи координат, зусилля та напруження відносно власних (місцевих) осей кінцевих елементів. Для

кожного кінцевого елементу по кожному завантаженню та комбінації завантаження були вичислені зусилля $M_x, M_y, M_{xy}, N, Q_y, Q_z$.

Враховуючи складність представлення великого об'єму інформації, результати розрахунку для основних несучих конструкцій каркасу будівлі представлені у вигляді епюр зусиль та зроблена вибірка найбільш навантажених елементів конструкцій каркасу будівлі.

Таблиця 2.

Таблиця комбінацій завантажень

Комбінації, номер	Найменування
1	постійна + вітрова
2	постійна + снігова
3	постійна + вітрова + снігова
4	постійна + снігова + кранова
5	постійна + снігова + кранова
6	постійна + снігова + кранова
7	постійна + вітрова + кранова + гальмівна
8	постійна + вітрова + кранова + гальмівна
9	постійна + вітрова + кранова + гальмівна
10	постійна + вітрова + снігова + кранова + гальмівна
11	постійна + вітрова + снігова + кранова + гальмівна
12	постійна + вітрова + снігова + кранова + гальмівна

Висновки. При проведенні розрахунків рам каркасу будівлі у єдиній просторовій моделі будівлі визначено:

1. Максимальні напруження в двогілкових колон крайнього ряду на 2,4% менш ніж в розрахунках цих колон у плоскому варіанті.
2. Максимальні напруження в двогілкових колон середнього ряду на 1,6% менш ніж в розрахунках цих колон у плоскому варіанті.
3. Максимальні напруження в окремих конструктивних елементах ферми (нижній та верхній пояс, розкоси) на 0,8% менш ніж в розрахунках цих елементів у плоскому варіанті.

Оптимізації конструктивних елементів рам каркасу будівлі цілком можлива.

Список використаних джерел:

1. Yakovenko I., Dmytrenko Y., Bakulina V. Construction of Analytical Coupling Model in Reinforced Concrete Structures in the Presence of Discrete Cracks. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (eds) *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME)*. Springer, Cham. – 2022. – P.107–120. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_10
2. Dmytrenko Ye. A., Genzerskiy Yu. V., Yakovenko I.A., Bakulin Ye. A. Strength Calculation of Normal Cross-Sections of Reinforced Concrete Structures at Flat Bending by the Wood-Armer Method in SP "LIRA SAPR". In: Awrejcewicz J., Danishevskyy Vl., Markert B., Novomlynets O., Savytskyi M., Tereshchuk O., Unčík St. (eds) *XIX International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture». AIP Conference Proceedings*. 2678, 020006. – 2023. – Issue 1. – 9 p. <https://doi.org/10.1063/5.0118680>
3. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction // *Theoretical and scientific foundations of engineering : collective monograph / Apostolova R., Shembel E., Aurbach D., Markovsky B., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. 180 p., pp. 70–96. <https://doi.org/10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II>*

УДК 624.045.12

ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗОНИ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ

Дмитренко Є.А., к.т.н., доц.

Бакай Т.В., аспір.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Залізобетон являє собою композиційний матеріал, що складається з бетонної маси, яка відіграє роль матриці і зв'язує усе разом, та наповнювача – сталевий або вуглецевої арматури, металевий або полімерний волокон, який сприймає розтягуювальні напруження, збільшуючи таким чином міцність і довговічність конструкції.

Робота залізобетону як єдиного матеріалу забезпечується за рахунок сил зчеплення, які виникають на межі контакту (інтерфейсному шарі) між арматурними стрижнями та бетоном, коли відбувається відносне зміщення,

або ковзання [1,2]. Зчеплення має значний вплив на поведінку залізобетонних конструкцій [2], як на стадії експлуатації, так і при втраті несучої здатності, у тому числі на такі явища, як: тріщиностійкість, жорсткість конструкції, перерозподіл зусиль у конструкції внаслідок появи пластичних шарнірів, а також на міцність напуску та анкерування арматури в бетоні.

Відомо [3], що зчеплення між бетоном та арматурою кількісно описують за допомогою залежності між напруженням зчеплення τ (рис. 1) і проковзуванням s – відносним зміщенням між матеріалами.

При цьому, виділяють [4] три основні складові напружень зчеплення τ :

- **Хімічна сила зчеплення** виникає внаслідок хімічної адсорбції, спричиненої проникненням цементного розчину в оксидний шар на поверхні сталевих стержнів, та твердіння продукту гідратації. Хімічна сила зчеплення має порівняно невеликий внесок у міцність зчеплення

- **Сила опору тертю** виникає при обтисканні арматури бетоном під час усадки. Бетон зменшується в об'ємі під час твердіння, викликаючи силу стиску, перпендикулярну до поверхні сталевих стержнів. Коли виникає тенденція до відносного ковзання між арматурою та бетоном, виникає сила опору тертю для протидії зовнішнім силам.

- **Механічна сила зачеплення** – основний механізм передачі зусиль між арматурними стержнями та бетоном – виникає за рахунок механічного заклинювання ребер з подальшою концентрацією напружень навколо них і тісно пов'язаний з розвитком тріщин поблизу інтерфейсного шару [5], що, у свою чергу, зменшує внесок механічного заклинювання в загальну поведінку зчеплення. Важливо підкреслити, що це дуже локалізоване явище значною мірою залежить від неоднорідності бетону, включаючи розподіл матриці та заповнювачів навколо ребер. Вважається, що ця неоднорідність проявляється у мінливості результатів навіть у практично ідентичних випробуваннях [1].

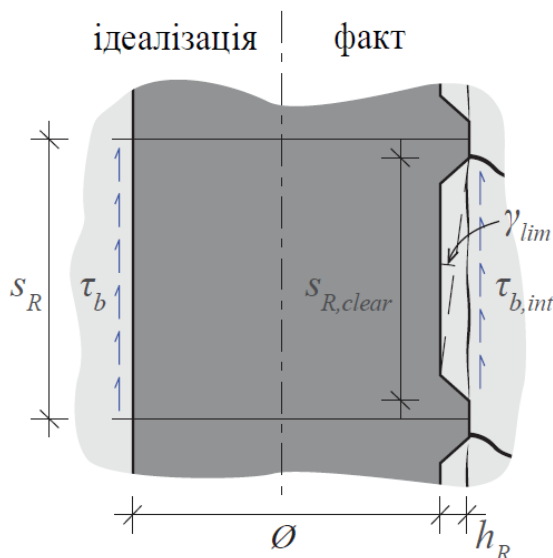


Рисунок 1 – Схеми розподілу ідеалізованих та фактичних напружень зчеплення на інтерфейсному шарі арматури періодичного профілю та бетону [1]

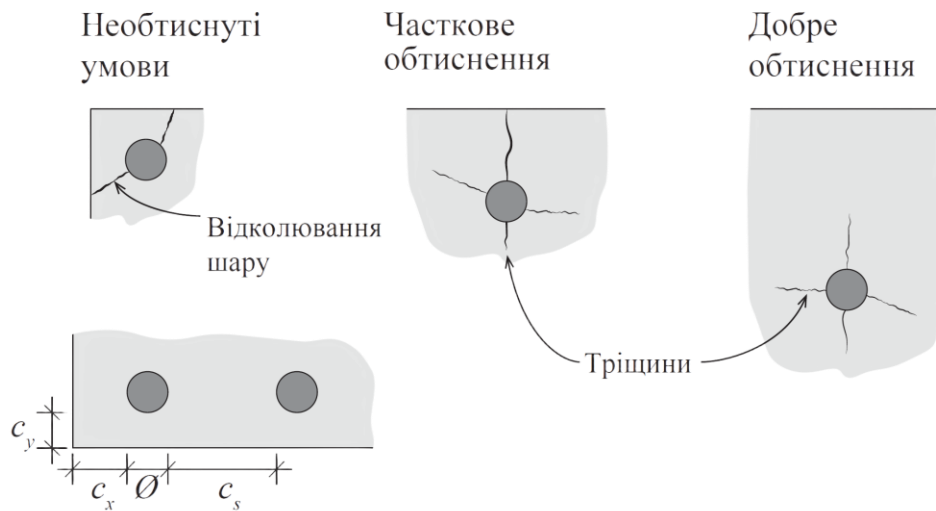


Рисунок 2 – Репрезентація різних умов обтиснення та їхній вплив на спосіб руйнування [1]

З великої кількості параметрів, що впливають на поведінку сил зчеплення між арматурою та бетоном, значний вплив на характер руйнування зони зчеплення чинить рівень обтиснення арматури в бетоні (confinement level). Виділяють [6] 3 основних рівня обтиснення (рис. 2):

- **Необтиснуті умови.** Це умови з тонким захисним шаром і/або відсутністю поперечної арматури. В таких умовах тріщини розколювання поширюються через захисний шар, що може призвести до крихкого руйнування.

- **Часткове обтиснення.** Це проміжні умови, коли обтиснення є помірним (наприклад, більший захисний шар або деяка наявна поперечна арматура). У таких випадках поперечна арматура запобігає крихкому руйнуванню, і можуть розвиватися більші напруження зчеплення

- **Добре обтиснення.** Це умови, коли арматура оточена значною кількістю бетону (великий захисний шар) і/або великою кількістю поперечної арматури. В таких умовах бетонні клини між ребрами арматури зрізаються при висмикуванні, що призводить до більш пластичної поведінки зчеплення-ковзання.

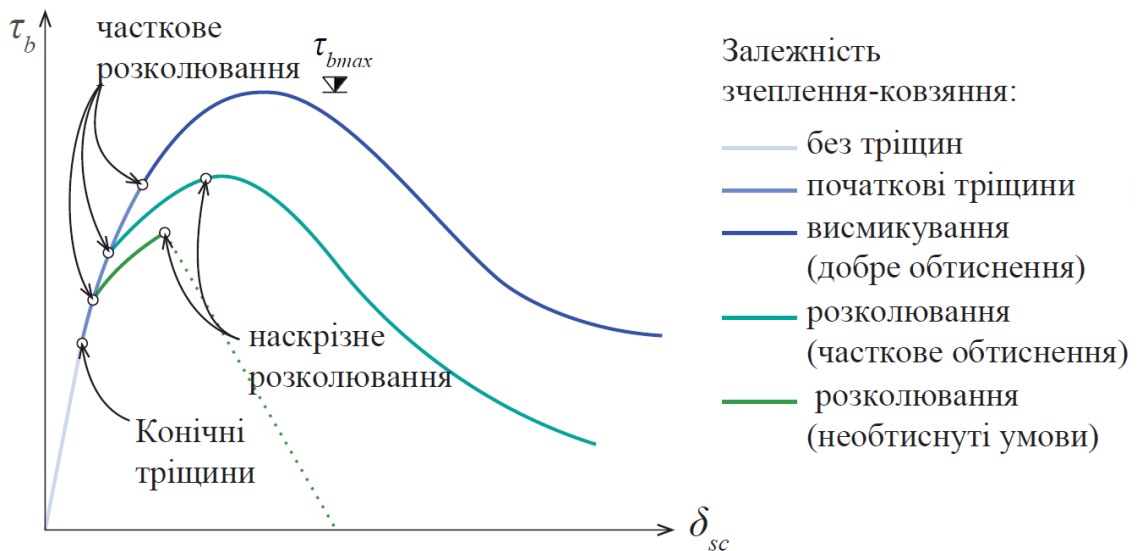


Рисунок 3 – Графік залежності зчеплення-ковзання при різних умовах обтиснення [1]

Розвиток напружено-деформований стану зони зчеплення арматури з бетоном проходить декілька етапів до остаточного руйнування. [1].

1. На початковому етапі зчеплення між арматурою та бетоном забезпечується в основному за рахунок хімічної адгезії та мікромеханічної взаємодії. Поперечні напруження на цьому етапі відносно невеликі ($\tau_b < 0.2\text{--}0.8 f_{ct}$). Деформації, тобто ковзання між арматурою та бетоном, дуже малі – близько 5-10 мікрометрів.

2. При збільшенні ковзання основну роль починає відігравати механічне заклинювання ребер арматури в бетон. Бетон чинить опір зміщенню стержня, утворюючи бетонні розпірки. В цих розпірках виникають поздовжні напруження (паралельні осі стержня), які врівноважують напруження зчеплення, радіальні напруження (перпендикулярні до осі стержня), які врівноважуються кільцевими розтягувальними напруженнями в бетоні навколо стержня. Стискальні напруження розвиваються в зоні контакту ребра з бетоном і можуть досягати значних величин. На кутах виступів ребер, внаслідок концентрації розтягувальних напружень, в бетоні починають утворюватися внутрішні конічні тріщини.

3. При подальшому збільшенні напружень зчеплення ($\tau_b = 1\text{--}3 f_{ct}$), в бетоні з'являються поздовжні тріщини, паралельні осі арматури. Це відбувається внаслідок перевищення розтягувальними напруженнями міцності бетону на розтяг в тангенціальному напрямку. Поперечні напруження продовжують зростати, особливо в зоні між ребрами. При наближенні напружень в бетонних розпірках до міцності бетону на стиск, бетон починає

руйнуватися, утворюючи клин з обтиснутого бетону, що призводить до збільшення сил розколювання.

4. На етапі руйнування поперечні напруження зчеплення τ досягають максимальних значень. А сам характер руйнування визначається рівнем обтиснення бетону, що забезпечується товщиною захисного шару, поперечною арматурою або зовнішнім тиском. Для необтиснутих умов характерне крихке руйнування внаслідок розколювання, спричиненого розвитком поздовжніх тріщин. При умовах доброго або часткового обтиснення відбувається руйнування висмикування (або pull-out failure) внаслідок зрізу бетонних клинів між ребрами арматури.

Висновки

1. Зв'язок між арматурними стрижнями та бетоном є критично важливим для поведінки залізобетонних конструкцій, і цей зв'язок характеризується залежністю між напруженням зчеплення τ і проковзуванням s .

2. У свою чергу, напруження τ зчеплення включають 3 складові (хімічна адгезія, сили тертя та механічне зачеплення). Основним механізмом передачі зусиль у стрижнях періодичного профілю є сили механічного зачеплення, які реалізуються через механічне заклинювання ребер у бетоні та мають суттєву залежність від локального розтріскування інтерфейсного шару між арматурою та бетоном та від неоднорідності самого бетону, що зумовлює значущу мінливість при випробуваннях ідентичних зразків.

3. Процес зчеплення-ковзання включає кілька фаз: на початковому етапі напруження передаються через хімічну адгезію, потім через механічне заклинювання ребер, і, нарешті, при великих напруженнях, з'являються поздовжні тріщини розколювання.

4. Важливо, що характер руйнування залежить від умов обтиснення: в необтиснутих умовах відбувається крихке руйнування, тоді як при достатньому обтисненні спостерігається руйнування висмикування. Коли напруження в бетонних розпірках наближаються до міцності бетону на стиск, бетон руйнується, утворюючи клин обтиснутого бетону, що збільшує сили розколювання.

Список використаних джерел:

1. Corres, E., & Muttoni, A. (2024). Local bond-slip model based on mechanical considerations. *Engineering Structures*, 314, 118190. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118190>
2. Gu, D., Mustafa, S., Pan, J., & Luković, M. (2023). Reinforcement-concrete bond in discrete modeling of structural concrete. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 38(10), 1324-1345. <https://doi.org/10.1111/mice.12937>

3. Koschemann, M., & Curbach, M. (2022, July). Bond behaviour and crack propagation of reinforced concrete under long-term loading. SMiRT.

<https://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.20/40309>

4. Huang, Y., & Liu, Y. (2023). Review of Bond-Slip Behavior between Rebar and UHPC: Analysis of the Proposed Models. *Buildings*, 13(5), 1270. <https://doi.org/10.3390/buildings13051270>

5. Somma, G., Vit, M., Frappa, G., Pauletta, M., Pitacco, I., & Russo, G. (2021). A new cracking model for concrete ties reinforced with bars having different diameters and bond laws. *Engineering structures*, 235, 112026.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112026>

6. du Béton, F. I. (2000). Bond of reinforcement in concrete-fib Bulletin No. 10. *Lausanne, Switzerland*.

УДК 338.4:69.003

РОЗВИТОК БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Бакулін Є.А., к.т.н, доц.

Федун О.С., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Протягом трьох років Україна зазнає руйнівних наслідків повномасштабної війни з Російською Федерацією. Цей тривалий конфлікт залишив глибокий слід у всіх секторах суспільства та економіки, а будівельна галузь зазнала одних з найтяжчих наслідків. Поєднання воєнного стану, масштабних руйнувань, економічної нестабільності та постійної необхідності адаптації докорінно змінило будівельний сектор в Україні.

Війна спричинила масштабні руйнування по всій Україні, що має руйнівні наслідки для будівельної галузі. Компанії зіткнулися з величезними перебоями у своїй діяльності, починаючи від руйнування ланцюгів забезпечення та виробничих потужностей, кваліфікованої робочої сили.

Скорочення внутрішнього виробництва будівельних матеріалів створило значні проблеми для галузі. Багато підприємств у зонах активних бойових дій або на тимчасово окупованих територіях було пошкоджено, тоді як інші були змушені зупинити виробництво з міркувань безпеки або через дефіцит енергоносіїв. Основні будівельні матеріали, такі як скло, металеві вироби та цегла, стали дефіцитними, що змушує компанії шукати альтернативні рішення

або імпортувати матеріали за вищими цінами [1]. Руйнування портової інфраструктури ще більше ускладнило імпорт, а відмова України від товарів з Росії та Білорусі призвела до необхідності розвитку нових торговельних відносин, що збільшило затримки та фінансову напругу.

Війна призвела до гострої нестачі робочої сили в будівельній галузі. Мобілізація робітників на військову службу в поєднанні з еміграцією кваліфікованих кадрів залишила значну прогалину в робочій силі. Багато проектних і підрядних організацій скоротили або припинили свою діяльність, через що галузі стає дедалі важче задовольняти попит на проекти реконструкції.

Дефіцит ресурсів призвів до зростання цін на матеріали та робочу силу, а коливання валютного курсу та інфляція ще більше посилили фінансове навантаження на будівельні компанії. Зараз компанії вирішують питання з додатковими витратами на встановлення засобів цивільного захисту в нових будівлях, таких як бомбосховища та укріплені підвали, щоб забезпечити безпеку в умовах воєнного часу.

Форс-мажорні обставини, зокрема часті відключення електроенергії, спричинені пошкодженням інфраструктури, ускладнили ситуацію в галузі. Будівельні компанії були змушені інвестувати в автономні джерела живлення, такі як генератори, щоб підтримувати роботу. Однак ці заходи потребують власних витрат, а обмежена потужність альтернативних джерел енергії часто сповільнювала темпи робіт.

Війна призвела до глибоких змін у структурі та обсягах попиту в будівельному секторі. Спочатку будівельна активність по всій країні практично зупинилася. Однак з середини 2022 року зусилля з відбудови пошкодженої інфраструктури та відновлення житла набрали обертів, особливо на територіях, віддалених від зон активних бойових дій, або у звільнених регіонах. Увага послуг змістилася на найважливіші проекти, зокрема відновлення пошкоджених будівель, будівництво житла для внутрішньо переміщених осіб та розвиток промислових об'єктів для підтримки переміщених підприємств.

Багато хто з покупців віддає перевагу готовим до заселення будинкам або об'єктам, будівництво яких наближається до завершення, надаючи перевагу невеликим функціональним об'єктам, які є більш доступними за ціною і легшими в обслуговуванні. Безпека і надійність стали головними пріоритетами, а замовники віддають перевагу об'єктам, обладнаним автономною інфраструктурою (резервними джерелами живлення, укріпленими підвалами і доступними квартирами на нижніх поверхах).

Географічно запит будівельної активності змістився на західні регіони України, які сприймаються як більш безпечні. На противагу цьому, східні та південні регіони, які знаходяться ближче до лінії фронту, стикаються з найбільш значними проблемами в плані реконструкції та нового розвитку. Навіть готельний і курортний сектори пристосувалися до цих змін: туристична активність перемістилася з південних регіонів до Карпат і Закарпаття, що стимулює попит на курортну нерухомість у цих регіонах.

Уряд запровадив реформи, спрямовані на спрощення видачі дозволів, підвищення прозорості та поглиблення діджиталізації в будівельному секторі. Зазначимо, що підготовка до післявоєнної відбудови вже триває. «План відновлення України» окреслює національні програми, покликані відбудувати країну, одночасно вирішуючи питання економічної та соціокультурної модернізації. Місцеві громади за підтримки таких ініціатив, як «U-LEAD з Європою», розробляють комплексні плани відновлення, які інтегрують міське планування зі стратегіями соціально-економічного розвитку [3].

Війна підкреслила потребу у відновлюваному міському плануванні та сталому будівництві, які здатні протистояти майбутнім викликам. Це включає в себе впровадження найкращих практик з усього світу та переосмислення традиційних підходів до розвитку міст. Ця трансформація вимагатиме скоординованих зусиль з боку уряду, приватного сектору та міжнародних партнерів з акцентом на створенні інклюзивних та сталих громад, які підтримують як економічне зростання, так і соціальний добробут [2].

Підсумовуючи, можна сказати, що війна в Україні глибоко змінила будівельну галузь, змусивши її долати безпрецедентні виклики і водночас готуватися до майбутнього, яке визначатиметься стійкістю та модернізацією. Руйнування інфраструктури, нестача робочої сили та дефіцит матеріалів порушили традиційні операції, а зростання витрат і зміна попиту зумовили необхідність нових стратегій. Незважаючи на ці труднощі, сектор продемонстрував неабияку адаптивність, зосередившись на реконструкції, безпечному проектуванні та впровадженні інноваційних принципів міського планування.

Список використаних джерел:

1. Корсун І.М., Зінченко М.М., Мостовенко О.О. Функціонування будівельної галузі в умовах війни. Сталий розвиток економіки №1 (48) - 2024, с. 176-182
2. Паламарчук О.М., Петришина С.В. Будівельна галузь України: стан та прогнози. Журнал «Економіка та суспільство». Мукачівський державний університет. 2023. Вип. 53. с.7

3. Жука М. Тенденції в будівельній галузі під час воєнного стану. Як війна впливає на будівельну галузь - 2023 URL: <https://clcgroupp.com.ua/blog/tendenciyyi-v-budivelnij-galuzi-pid-chas-voyennogo-stanu/> (Дата звернення 24.12.2024)

4. Бакулін Є.А. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навчальний посібник / Є. А. Бакулін, В. М. Бакуліна, Н. О. Костира. – К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. – 264 с. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>

5. Ключев В.В. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації / В.В. Ключев, Є.А. Бакулін // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2024. – № 15. – С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>

6. Bakulin Y.A. Engineering protection and prepatation of territories : study guide; under the editorship of cand tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.

УДК 666.9.001:691.2

ВИКОРИСТАННЯ ДОМІШОК ДО БЕТОНУ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Бакуліна В.М., ст. викл.

Василенко Д.В., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Національним стандартом України на Правила проектування залізобетонних конструкцій з важкого бетону (ДСТУ Б.В.2.6-156:2010) передбачено можливість застосування бетону з максимальним класом за міцністю С50/60, що відповідає найближчій марці 800.

Згідно Європейських норм EN206-1:2013 допускається застосовувати важкі бетони з максимальним класом С100/115, середня кубкова міцність яких досягає 150 МПа.

В останні роки у всіх індустріально розвинених країнах розширюється виробництво високоміцного бетону з міцністю на стиск вище 60 МПа, що дозволяє суттєво знизити матеріалоємність і підвищити довговічність споруд. З 1965 р. на даний час міцність бетону у Європейських країнах збільшилась в

2...2,5 рази. В Україні цей процес поки відбувається значно повільнішими темпами [1].

Добавки для бетону набули популярності не так давно, але твердо закріпили свої позиції і постійно нарощують оберти застосування. І все це, завдяки найголовнішій із зазначених вище переваг – значній економії цементу, якої без використання додаткових речовин досягти неможливо.

Кожна з добавок має своє призначення і специфіку задіяння. Так, одні підходять для спекотного клімату і використовуються, щоб уповільнити затвердіння бетонної суміші. Інші підвищують якісні показники матеріалу, що застосовується на відкритому повітрі. Треті збільшують водонепроникність розчину, четверті надають морозостійкість, п'яті фарбують і т.д. Тому дуже важливо перед тим, як купити добавки до бетону, вивчити інформацію про їх властивості, характеристики, застосування, з'ясувати ефективність використання в конкретному випадку.

Класифікація добавок до бетону. Добавки можуть відрізнитися за місцем застосування бетону: для внутрішніх робіт і для зовнішніх. Також є їх хімічні (емульсії, порошки, водні розчини) та мінеральні, або тонкомелені (у формі порошків тонкого помелу) види.

Згідно з головним розділенням за євростандартом весь комплекс цієї сировини класифікують на пластифікатори і суперпластифікатори, водоутримувачі, збільшувачі водонепроникності, речовини, що залучають повітря, прискорювачі схоплювання і твердіння, інгібітори схоплювання, а також низка добавок-комплексів (сповільнювачі-пластифікатори, сповільнювачі-суперпластифікатори і прискорювачі схоплювання-пластифікатори).

Крім того, є добавки, що уповільнюють корозію, мінімізують утворення тріщин, ті, які застосовують у підводному бетонуванні та для збірного залізобетону. Розгляньмо детальніше кілька основних з перерахованих видів цих матеріалів.

Пластифікатори. Це одні з найбільш доступних в економічному плані добавок. Компоненти бетонових сумішей, що надають їм або збільшують еластичність/пластичність/рухливість у процесі виготовлення і застосування. Вони спрощують диспергування складових, знижують температурний режим обробки, збільшують морозостійкість (іноді можуть негативно відбиватися на тепловій стійкості). На загал, виділяють 3 основні заслуги цих добавок.

Перша – це, власне, і є підвищення рухливості бетоносуміші шляхом розрідження. Друга – максимізація міцності бетону, завдяки зменшенню витрат води. Третя – економія цементу, яку дозволяє досягти зменшення співвідношення води та цементу.

Суперпластифікатори. Спеціально синтезовані добавки, що збільшують рухливість бетоносуміші без втрати міцності бетону. Вони дають більш стабільні результати від застосування, ніж пластифікатори, однак і коштують дещо дорожче.

Добавки-комплекси. Суміші з декількох інгредієнтів, які мінімізують негативні сторони один одного і збільшують загальний ефект.

Протиморозні та прискорювальні добавки. Перші дозволяють працювати з бетоном при малих температурах. Другі і виступають протиморозними агентами, і при позитивних показках термометра прискорюють затвердіння.

Мінеральні добавки. Порошки, сировиною для яких служать природні або техногенні матеріали. У воді не розчиняються, а крупність їх зерен становить не менше 0,16 мм. Завдяки їм можна витратити цемент економно, а надійність експлуатації бетону підвищити в рази.

Гідроізоляційні агенти. Підвищують гідроізоляцію бетону, впливаючи на його структуру. В процесі гідратації цементу формують кристалічний стан, який при взаємодії з водою дає еtringіт, що заповнює бетонні пори. Цей тип добавок особливо актуальний для створення фундаментів при наявності ґрунтових вод, а також для басейнів, дамб, водних резервуарів і гребель.

Сумісність добавок одна з одною. Доведеться мати справу з добавками для бетону? Врахуйте, що представники різних видів можуть бути як сумісні між собою, так і несумісні. Тому не зайвими будуть попередні випробування на сумісність.

Поширені добавки до бетону. Каолін (біла глина). Високодисперсна порошкоподібна маса, що стабілізує реологічні властивості бетонних сумішей.

Цеоліт. Спектр застосування цієї активної мінеральної добавки в будівництві досить широкий. До складу бетону її вводять для зменшення витрати цементу і розтріскування бетону.

Винна кислота. Вводиться до складу суперпластифікаторів для регулювання часу схоплювання і темпу затвердіння бетону.

Лимонна кислота. Є компонентом багатофункціональних добавок, призначених для прискорення схоплювання, твердіння цементів (звичайних і швидкотвердних) та підвищення міцності бетону.

Параформ (параформальдегід). Сукупність продуктів полімеризації формальдегіду у вигляді білої кристалічної речовини (можливі молочний або жовтий відтінки) зі слабким запахом формальдегіду. У невеликих кількостях зменшує період схоплювання цементу.

Оксид алюмінію. Є компонентом гідроізоляційних додатків для бетону, сульфатостійких портландцементу і шлакопортландцементу. Прискорює схоплювання, тверднення і набирання міцності.

Поташ (карбонат калію). Для додаткового посилення морозостійкості в бетон разом з поташем вводять рідке натрієве скло. Прискорити твердіння речовини вдається, завдяки тому, що вона, змінюючи розчинність силікатних компонентів цементу, утворює з продуктами його гідратації солі (подвійні або основні). Крім того, це нейтральна до арматури добавка, а також така добавка, що надає надцінні властивості бетону, який стає практично водонепроникним.

Кальцій хлористий (хлорид кальцію). Ще одна антиморозна добавка, яка прискорює схоплювання бетоноsumішей.

Натрій азотистокислий (нітрит натрію). Протиморозна добавка для бетону, а також інгібітор атмосферної корозії.

Карбамід (сечовина). У будівництві виступає добавкою спеціального призначення до бетону, протиморозним агентом, що дає можливість розчину тверднути при низькій температурі навколишнього середовища.

Тринатрійфосфат. У будівництві регулює схоплювання і твердіння цементних композицій.

Оксид хрому (III) пігментний. Твердий зелений порошок, що застосовується в будівельній сфері як фарбувальна добавка.

Діоксид марганцю (піролюзит). Чорний пігмент для бетонів, що забарвлює будматеріали у відповідний колір.

Графіт. Ще один чорний пігмент для бетону. Однак, крім функції фарбування, ця добавка спеціального призначення (дисперсноармувальна) виконує і деякі інші завдання: підвищує міцність і покращує тиксотропні характеристики.

Список використаних джерел:

1. Дворкін Л. Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони / Л. Й. Дворкін, Є. М. Бабич, В. В. Житковський та ін. – Рівне: НУВГП, 2017, 331 с.
2. Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну. – К. : Толока, 2017. – 627 с.

FLOORS OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Bakulina V., st. lecturer

Lysak I., stud.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

In industrial buildings, the floor must be durable, wear-resistant, fireproof, water-resistant, impermeable to water, convenient for human movement, and easy to clean during maintenance. It should also meet technological requirements and allow for quick restoration.

When selecting the type and design of the floor, the nature of the production activities performed on it, as well as ensuring the durability and operational reliability of the floor, must be taken into account. Therefore, different floor constructions may be implemented in different sections of the workshop. The main structural elements of floors include the covering, underlayer, interlayer, screed, waterproofing, and foundation.

Let us consider options for seamless solid floors based on natural materials:

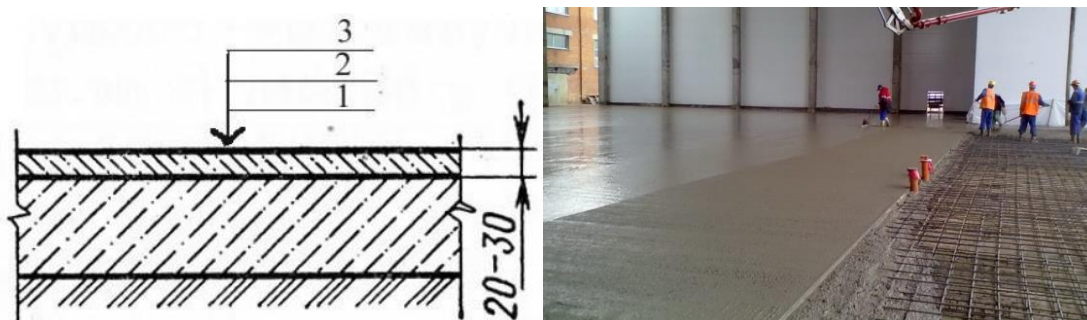


Fig. 1. The concrete floor is durable and has a smooth surface:
1 – compacted soil; 2 – waterproofing; 3 – concrete layer (100 mm);
4 – cement screed (20-30 mm)



Fig. 2. Asphalt concrete floors

These are suitable for flooring in industrial premises. They have high durability against all types of loads. They are used in storage areas, driveways, and walkways.



Fig. 3. Self-leveling floors

These are characterized by the hardness of the covering. The base material consists of polyurethane or epoxy resin, with various additives included in the composition. The floor coating has a smooth matte or glossy surface, allowing for decoration. The mixture can be used to "mask" minor imperfections of the subfloor (such as small cracks and height differences). Self-leveling floors are resistant to mechanical impact, chemicals, and wear.



Fig. 4. Painted floors

A floor designed for further decoration. The surface features a thin polymer layer, 0.3 mm thick, which provides protection against water, aggressive chemicals, and other substances.

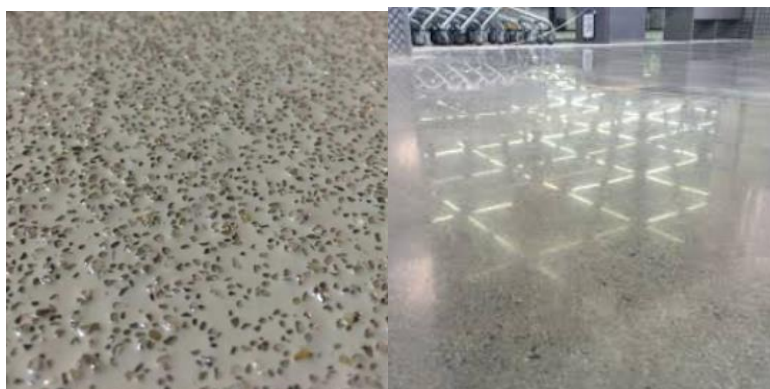


Fig. 5. High-filled floors

A durable coating based on methyl methacrylate or epoxy resin. Quartz sand is used as an additive (approximately 1/3 or 1/6 of the total volume). High-filled floors are resistant to mechanical impact, aggressive environments, and temperature fluctuations. These mixtures are suitable for installation in areas with high foot and vehicle traffic (e.g., warehouses or logistics centers) and chemical industry enterprises. The main advantage of high-filled floors is their fast curing time. The coating is ready for use within just a few hours.

Conclusions. The choice of flooring for industrial buildings depends on the operating conditions, type of loads, and safety requirements. Concrete, self-leveling, asphalt concrete, high-filled, and other coatings each have their advantages and are suitable for different industries. The main criteria are strength, wear resistance, chemical and mechanical durability, and ease of maintenance. Proper selection of the flooring ensures the safety of workers, the longevity of the structure, and the efficiency of the production process.

References

1. Бакулін Є.А. Деформації як індикатори небезпек та ризику руйнування експлуатованих будівель / Є.А. Бакулін // Будівництво України. – 2013. – №5. – С. 2– 5.
2. Костира Н.О. Особливості технічного обстеження об'єктів прилеглих до існуючої забудови / Н.О. Костира, В.М. Бакуліна // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022. – №12. – С. 105–114. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.105-114>
3. Marienkov M.H. Experimental monitoring and dynamic certification of building structures / M.H. Marienkov, V.A. Dunin, N. Margvelashvili, G.G. Farenjuk, Ya.O. Berchun // Наука та будівництво. – 2019. – Вип. 22(4). –С. 33–44, <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v22i4>

ОСОБЛИВОСТІ БЕЗБАЛОЧНОГО ПЕРЕКРИТТЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Бакуліна В.М., ст. викл.

Колода В.С., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Використання безбалочного перекриття в будівництві використовується давно, може бути з монолітного або із збірного залізобетону.

Використовується в сучасному будівництві для оптимізації простору та зменшення ваги конструкції.

Види безбалочного перекриття:

- Монолітне залізобетонне перекриття – формується на місці будівництва шляхом бетонування.
- Збірно-монолітне перекриття – поєднання заводських плит із додатковим бетонуванням.
- Переднапружене перекриття – використовується напружена арматура для збільшення міцності.

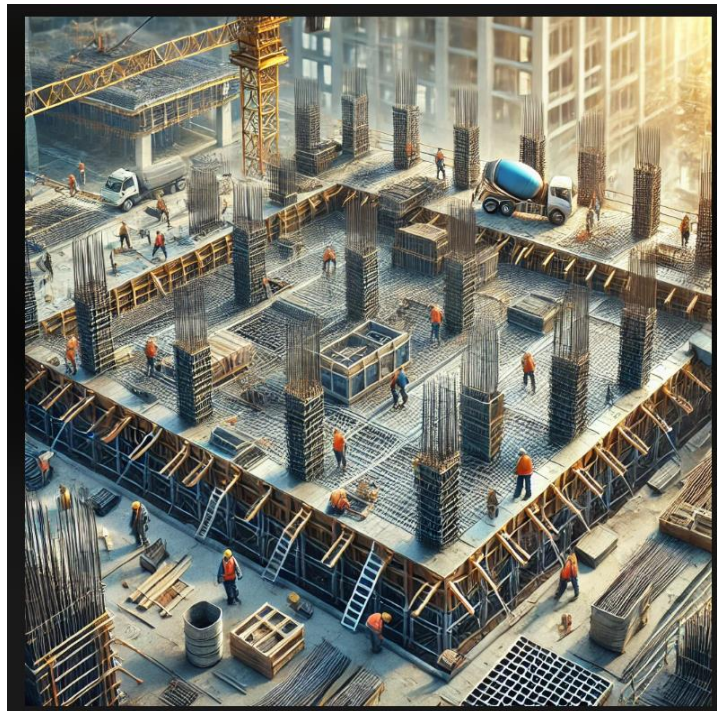


Рисунок 1 – Зведення будівлі з монолітного залізобетону

Конструктивні особливості полягають:

- Перекриття рівномірно передає навантаження на колони.
- У деяких випадках застосовуються капітелі (розширені верхні частини колон) для зменшення напружень у місцях з'єднання.
- Вимагає ретельного розрахунку товщини плити та армування для уникнення деформацій.

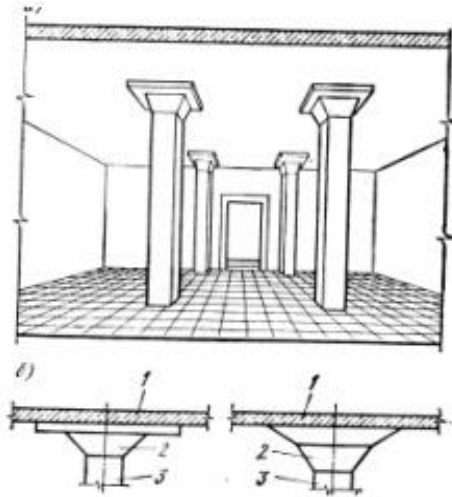


Рисунок 2 – Залізобетонне монолітне безбалочне перекриття:
1 – плита; 2 – капітель; 3 – колона

Переваги використання в житловому будівництві:

- Зменшення загальної висоти будівлі, що дозволяє економити матеріали та енергію.
- Спрощення розміщення інженерних комунікацій (електромереж, вентиляції, сантехніки).
- Гнучкість у плануванні приміщень завдяки відсутності виступаючих балок.

Вплив на загальну несучу здатність будівлі:

- Безбалочне перекриття створює рівномірне навантаження на колони.
- Підвищені вимоги до жорсткості плит через відсутність балок.
- Важливість правильного розрахунку армування для запобігання утворенню тріщин.

Вимоги до армування та товщини плити

- Мінімальна товщина плити залежить від навантаження та прольоту (зазвичай 20-30 см).
- Армування розташовується у верхній та нижній частинах плити для рівномірного розподілу навантаження.
- У зонах підвищеного навантаження використовують додаткове армування.

Обмеження безбалочних перекриттів

- Обмеження по максимальному прольоту (зазвичай до 7,2 метра).

- Підвищена товщина плити збільшує загальну масу будівлі.
- Необхідність ретельного контролю тріщиностійкості.

Список використаних джерел:

1. Bakulin Y.A. Engineering protection and prepatation of territories : study guide; under the editorship of cand tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.
2. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction // Theoretical and scientific foundations of engineering : collective monograph / Apostolova R., Shembel E., Aurbach D., Markovsky B., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. 180 p., pp. 70–96. <https://doi.org/10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II>
3. Бакулін Є.А. Об'ємно-просторові рішення будівель і споруд : навчальний посібник / Є. А. Бакулін, В. М. Бакуліна, Н. О. Костира. – К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. – 264 с. <https://dglib.nubip.edu.ua/handle/123456789/11201>
4. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції : будівлі, споруди та їх частини: підручник. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2017. – 284 с.
5. Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну. – К. : Толока, 2017. – 627 с.

УДК 72.03:725

VDC ТА МОДЕЛЮВАННЯ

Бакулін Є.А., к.т.н, доц.

Карпушин О.О., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

VDC (Virtual Design and Construction) – це індустрія віртуального проектування і будівництва, до якої належить усім відомий сьогодні інструмент - BIM (Building Information Modeling) будівельне інформаційне моделювання.

Віртуальне проектування та будівництво (VDC) – це вид технології, який створює цифрові моделі будівель та будівельних майданчиків. Архітектори,

інженери та підрядники використовують моделі VDC для візуалізації та планування проектів будівель, процесів, графіків, бюджетів тощо.

Технологія VDC дозволяє компаніям аналізувати будівельні плани від початку до кінця, перш ніж розпочинати будівельні роботи.



Рисунок 1 – Користування 3D простору прямо на об'єкті

Технології VDC та інформаційне моделювання будівель (BIM) пов'язані між собою, але відрізняються за призначенням. Технологія BIM створює цифрове представлення фізичної будівлі, VDC використовує 3D-моделі BIM та іншу інформацію для цифрового планування всіх аспектів будівельного проекту — від оцінювання витрат до складання графіків та управління ризиками.

Ризик людської помилки властивий будівельним процесам. Технологія VDC дозволяє побудувати проект віртуально, а потім відстежувати хід будівництва, оптимізувати процеси, мінімізувати відходи та перевіряти монтаж. Робочий процес стає ефективнішим, якість покращується, а ризик зменшується.

VDC відіграє вирішальну роль у підтримці та покращенні фази проектування проекту завдяки кільком ключовим функціям:

1. Створення моделей на основі хмарних технологій Такі інструменти, як Autodesk та Autodesk Construction Cloud, забезпечують створення моделей на основі хмарних технологій, дозволяючи різним зацікавленим сторонам співпрацювати над проектом в режимі реального часу з будь-якого місця. Це гарантує, що всі працюють з найновішою інформацією та оптимізує процес проектування.

2. Просторове планування VDC сприяє просторовому плануванню, надаючи точні 3D-моделі, які допомагають проектувальникам візуалізувати та оптимізувати розташування елементів будівлі. Це забезпечує більш ефективне

використання простору та гарантує, що всі компоненти збігаються належним чином.

3. Координація моделей та виявлення колізій Інструменти VDC підтримують координацію моделей та виявлення колізій, ідентифікуючи та вирішуючи конфлікти між різними будівельними системами до початку будівництва. Це мінімізує потенційні проблеми та переробки, забезпечуючи належну інтеграцію всіх систем.

4. Візуалізація та віртуальна реальність VDC покращує проектування за допомогою візуалізації та віртуальної реальності, дозволяючи зацікавленим сторонам відчувати та взаємодіяти з проектом у змодельованому середовищі. Цей ефект занурення допомагає краще зрозуміти проектний задум та приймати обґрунтовані рішення, дозволяючи проектній команді перевірити проект на відповідність умовам задоволення та цінності власника, перш ніж зміни стануть за надто дорогими.

VDC значно покращує фазу будівництва завдяки різноманітним передовим технологіям та інструментам:

1. Складання графіків та кошторис на основі моделей Параметри BIM сприяють детальному аналізу графіків та витрат проекту. Інтегруючи ці параметри, VDC допомагає точно прогнозувати терміни та бюджетні вимоги, покращуючи загальне управління проектом.

2. Технології для будівельного майданчика VDC включає технології для будівельного майданчика для оптимізації будівельних процесів. Це включає інструменти для точного розміщення на майданчику та фіксації реальності, що забезпечує відповідність будівництва цифровій моделі та зменшує кількість помилок.

3. Фіксація реальності Використання технологій фіксації реальності, таких як 3D-сканування, дозволяє в режимі реального часу порівнювати фактичний стан з цифровою моделлю. Це допомагає ідентифікувати розбіжності та своєчасно вносити необхідні корективи.

4. Автономне будівництво VDC підтримує інтеграцію технологій автономного будівництва, підвищуючи ефективність та точність на майданчику. Ці технології можуть автоматизувати завдання, зменшуючи ручну працю та підвищуючи загальну продуктивність.

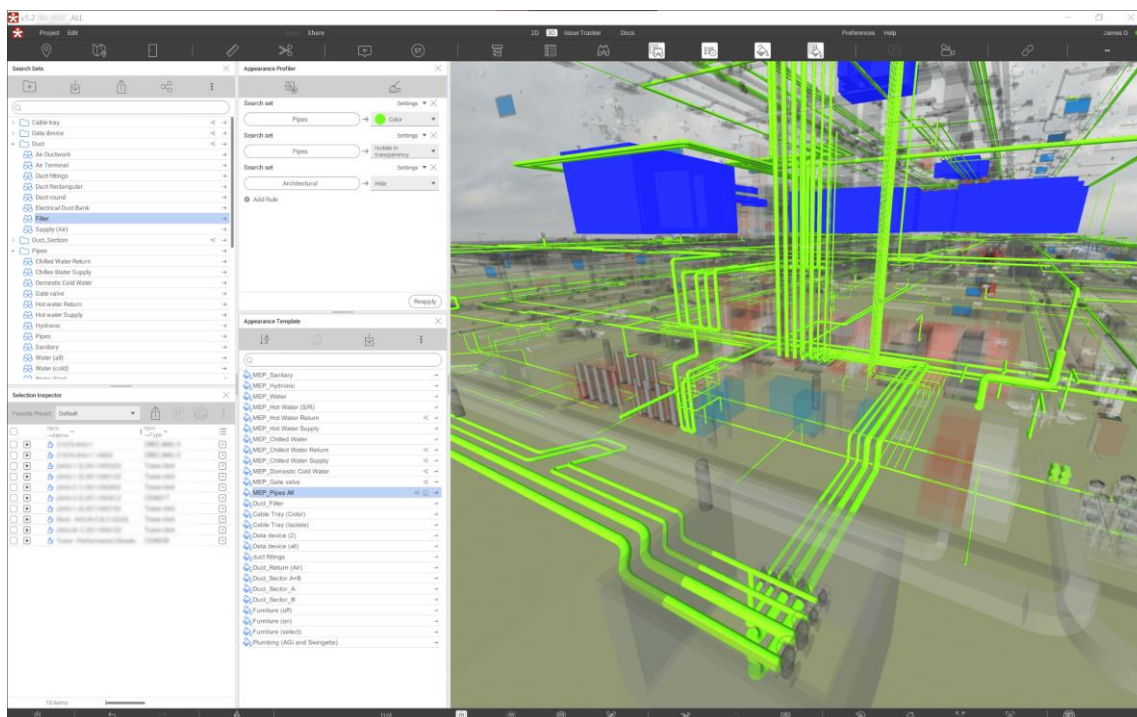


Рисунок 2 – Програмний комплекс Revizto (який полегшує координацію з іншими системами, та пошук колізій)

Висновок. VDC-моделювання є потужним інструментом, який забезпечує значні переваги для всіх учасників будівельного процесу. Воно сприяє підвищенню ефективності, якості та безпеки будівництва, а також зниженню витрат та термінів реалізації проектів.

Список використаних джерел:

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни "Основи автоматизованого проєктування в будівництві" для студентів за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» / уклад.: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. – К. : НУБіП України, 2021. – 91 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за дисциплінами «САПР у будівництві», «Моделювання будівель та споруд сільськогосподарського призначення» підготовки фахівців ОС «Магістр» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» / уклад.: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. – К. : НУБіП України, 2021. – 104 с.
3. URL: <https://leanconstruction.org/lean-topics/virtual-design-and-construction-vdc-for-lean/>
4. URL: <https://revizto.com/en/>
5. URL: <https://www.autodesk.com/solutions/virtual-design-construction-workflow>

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Бакуліна В.М., ст. викл.

Малишко П.Е., студ.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Моніторинг стану об'єкта – це спостереження за станом об'єкта або його окремих конструкцій для вивчення їх технічного стану, виявлення та контролю можливих деформацій і своєчасного залучення заходів щодо усунення виникаючих негативних факторів, що ведуть до погіршення поточного стану.

Система моніторингу складається з **наступних компонентів**:

- Датчики та сенсори: збирають дані про стан об'єкта або системи, за якими ведеться спостереження. Датчики можуть бути різноманітними, залежно від типу системи моніторингу (наприклад, датчики температури, вологості, тиску, руху тощо).

- Пристрої збору та передачі даних: отримують дані з датчиків та передають їх до центрального блоку обробки. Це можуть бути різноманітні пристрої, такі як контролери, модеми, роутери тощо.

- Центральний блок обробки: отримує дані з пристроїв збору та передачі, обробляє їх та аналізує. Відбувається візуалізація даних, формування звітів та сповіщень про події, що відбуваються в системі.

- Програмне забезпечення: забезпечує роботу центрального блоку обробки, візуалізацію даних, формування звітів та сповіщень. Воно може бути різноманітним, залежно від типу системи моніторингу та її функціональності.

- Система сповіщень: інформує користувачів про події, що відбуваються в системі. Сповіщення можуть бути: звукові, світлові, SMS-повідомлення, електронні листи та інше.

- Інтерфейс користувача: забезпечує доступ користувачів до даних та функцій системи моніторингу. Інтерфейс може бути різноманітним, наприклад, веб-інтерфейс, мобільний додаток тощо.

Залежно від типу системи моніторингу, її склад може відрізнятися. Важливо зазначити, що ефективність системи моніторингу залежить від правильності вибору компонентів, їх налаштування та інтеграції між собою.

Система моніторингу представляє собою велику кількість найрізноманітніших датчиків, об'єднані в один блок, що дистанційно в режимі

реального часу передає ті чи інші необхідні данні про стан окремих елементів будівлі чи споруди. За потреби сповістити при появі певних проблем, які вимагають відповідних заходів ремонту або наглядної перевірки спеціаліста.

Історія розвитку цих систем налічує кілька десятиліть, і важко назвати конкретну людину або місце, де вони були винайдені. Проте, можна виділити кілька ключових етапів та напрямків розвитку, які сприяли створенню сучасних *систем моніторингу*:

1. Ранні методи спостереження:

- Візуальний огляд: Цей метод і досі залишається важливим елементом моніторингу.

- Геодезичні методи: Для більш точного вимірювання деформацій будівель та споруд почали застосовуватися геодезичні методи, такі як нівелювання та тріангуляція.

2. Розвиток сенсорних технологій:

- Механічні датчики: З розвитком науки і техніки були розроблені різноманітні механічні датчики, такі як тензодатчики, датчики тиску та датчики зміщення, які дозволяли автоматично вимірювати різні параметри стану будівель та споруд.

- Електронні датчики: З появою електроніки з'явилися більш точні та надійні електронні датчики, такі як акселерометри, датчики температури та вологості, які дозволили розширити спектр параметрів, що контролюються.

3. Інформаційні технології:

- Системи збору та обробки даних: З розвитком комп'ютерних технологій з'явилася можливість створювати системи для автоматичного збору, обробки та аналізу даних, отриманих від сенсорів.

- Програмне забезпечення для моніторингу: Було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє візуалізувати дані моніторингу, виявляти тенденції та прогнозувати можливі проблеми.

4. Сучасні тенденції:

- Бездротові сенсорні мережі: Широке поширення бездротових технологій дозволило створювати бездротові сенсорні мережі, які є більш гнучкими та економічно ефективними для моніторингу будівель та споруд.

- Інтернет речей (IoT): Концепція Інтернету речей відкриває нові можливості для моніторингу будівель та споруд, дозволяючи об'єднувати різні пристрої та системи в єдину мережу для більш комплексної оцінки стану об'єкта.

- Штучний інтелект та машинне навчання: Застосування штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє автоматично аналізувати дані

моніторингу, виявляти аномалії та прогнозувати можливі проблеми з більшою точністю.

Таким чином, розвиток систем моніторингу за будівлями та спорудами - це результат еволюційного процесу, в якому брали участь вчені, інженери та розробники з різних країн світу.

Можна використати систему моніторингу для дистанційної системи моніторингу для споруд, за якими проблематично постійно вести спостереження, такі як магістраль, дамби, тунелі метро, телевізійні і не тільки вишки. Також їх варто використовувати у спорудах підвищеної проблематичності, оскільки сприймають великі динамічні навантаження: злітні смуги, мости, залізничні колії, ліфтові конструкції і так далі.

Із розвитком цієї технології, можна буде встановити певні автоматичні заходи, для запобігання критичного стану споруди, або навіть усунення проблеми, аби запобігти частковій або повній руйнації.

В Україні система дистанційного моніторингу не має великої популярності з ряду причин. Але попри це, цю практику все ж використовують та розвивають.

Як зазначалось раніше, цю систему моніторингу, можна також забезпечити механізмами автоматичного запобігання.

Висновок. Система дистанційного моніторингу за будівлями та спорудами є складними та багатофункціональними інженерними рішеннями, які забезпечують безпеку та довговічність будівель та споруд, вони полегшують процес діагностики та відновлення.

УДК 69.059.351.778.52

ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING 3D SCANNING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs)

Bakulin Y., Ph.D., Assoc. Prof.

Klyuev V., postgraduate stud.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Monitoring the technical condition of building structures is an important task aimed at improving reliability and safe operation.

The results of technical inspection of buildings and structures largely depend on the qualification, awareness, and level of training of specialists. To improve the quality, objectivity, and reliability of technical inspection for classifying defects and damages in building structures, an alternative is proposed based on laser scanning of the object under study using unmanned aerial vehicles (UAVs).

The use of laser scanning technologies with UAVs allows high-precision detection of deformations and other structural changes of the object, which enables more detailed analysis and prompt implementation of appropriate measures to eliminate defects and damages.

For image analysis, a method of generating a photogrammetric three-dimensional (3D) model and defect recognition based on a convolutional neural network (CNN) is proposed. Using this method, it is possible to build a 3D model based on photographs using scanners.

When using convolutional neural networks (CNN) to detect and evaluate defects, various datasets containing different cases and types of construction defects are used. This approach reduces the influence of the human factor as the system autonomously and objectively detects and classifies all defects and damages.

Thus, by using UAVs, applying photogrammetric three-dimensional models (3D), and using convolutional neural networks to identify and analyze the type and forms of defects, it is possible to conduct research to determine the technical condition in hard-to-reach places without involving a specialist.

Recent developments used for defect detection provide almost automated inspection methods based on digital image processing and artificial intelligence. One of the modern methods of defect detection is a system based on Convolutional Neural Networks (CNN), which are used in computer vision tasks for image generation and classification and object recognition.

The main task of software for a computer vision system is how to detect and analyze structural defects with a given probability. The main quality criterion for such a model is proposed to use the *precision* metric, which determines the classification of defects in digital images.

The complexity of this task lies in creating a unified electronic catalog for identifying different types of structural element defects, automatic learning, detecting image features, and final verification and testing of the defect detection model when inspecting construction objects.

References:

1. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024, 91 с.

2. Галаган Р.М., Андреев С.М., Петрик В.Ф., Баженов В.Г., Лисенко Ю.Ю. Виявлення дефектів бетонних конструкцій на основі аналізу зображень за допомогою згорткових нейронних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Том 34(73). № 2. С. 138–144.

3. H.S. Munawar, F. Ullah, A. Heravi, Jamal Thaheem, A. Maqsoom. Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning Approach to Detect Cracks and Damages. *Drones* 2022, 6(1), 5; <https://doi.org/10.3390/drones6010005>

4. Ключев В.В. Сучасні методи ідентифікації небезпек руйнування будівель, споруд та конструкцій у реальних умовах експлуатації. В.В. Ключев, Є.А. Бакулін // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2024. – № 15. – С. 86–96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.86-96>

5. Бакулін Є.А. Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, В.М. Бакуліна // Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : collective monograph. – Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. – Р. 1–43. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>

УДК 624.042

ВІБРОДИНАМІЧНІ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОСІВ У М. ОДЕСА ПІСЛЯ ВИБУХОВИХ ВПЛИВІВ

¹Мар`єнков М.Г., д.т.н., с.н.с.

²Бабік К.М., к.т.н., зав. лаб.

¹Карпенко О.М., студ.

¹**Національний університет біоресурсів і природокористування**
²**ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»**

Приведено результати динамічних досліджень металевої каркасної будівлі силосів №№ 5 та 12 у м. Одеса.

Силос №5 має пошкодження несучих сталевих конструкцій внаслідок впливу ударних повітряних хвиль під час обстрілів [1, 3], силос №12 – умовно непошкоджений.

Вибір для випробувань вказаних силосів викликаний схожим ступенем завантаженості об'ємів на момент виконання досліджень.

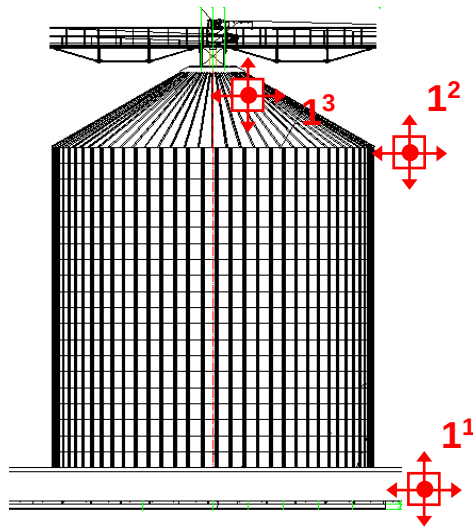


Рисунок 1 – Розстановка датчиків відповідно до схеми 1

Для визначення частот власних горизонтальних коливань конструкцій силосів вібродатчики розміщувались за схемою 1 (рис. 1 та 2, а) в вертикальній площині у трьох рівнях по висоті: т. 1 – в рівні фундаменту; т. 2 – в рівні верху циліндричного об'єму на позн. +20,000; т. 3 – в центрі покрівлі на позн. + 27,410. Результати вібродинамічних обстежень конструкцій силосів № 5 та №12 наведені на рис. 3 та 4.



Рисунок 2 – Розміщення датчиків вібрації відповідно до розроблених схем: а – датчик горизонтальних коливань розміщено на позначці +20,000; б – датчик вертикальних коливань розміщено на позначці +27,410 (за схемою 2)

Зареєстроване зменшення частоти горизонтальних коливань сталевого каркасу пошкодженого силосу №5 до 1,63 Гц (у порівнянні з

частотою 2,0 Гц непошкодженого каркасу силосу №12) дозволило визначити зниження жорсткості каркасу силосу №5 в горизонтальному напрямку в 1,5 рази (по відношенню до жорсткості каркасу силосу №12).

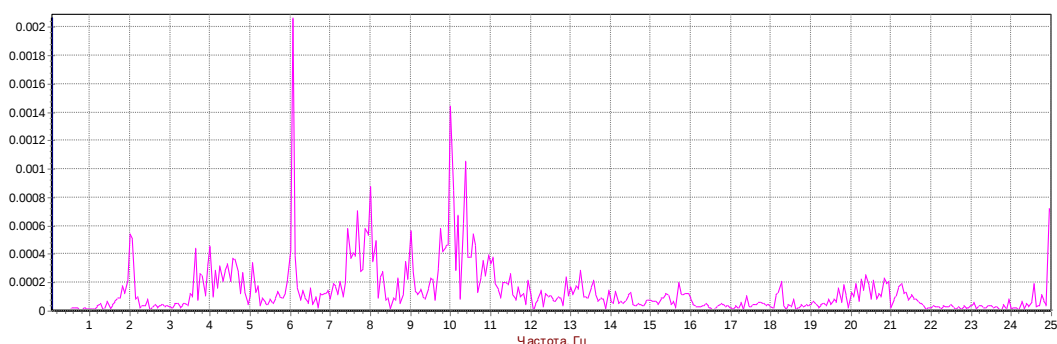


Рисунок 3 – Вузькосмуговий спектр горизонтальних прискорень верху непошкодженого силосу №12 (частота за першою формою власних коливань сталевого каркасу силосу 2,0 Гц)

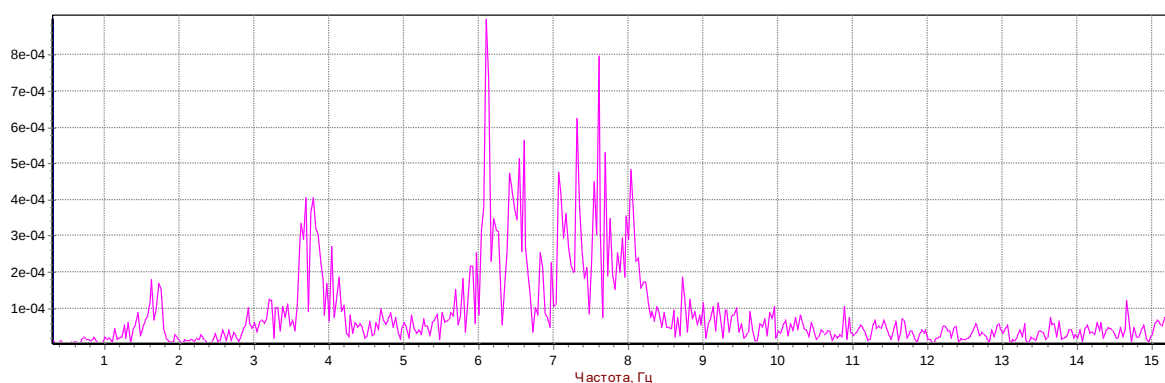


Рисунок 4 – Вузькосмуговий спектр горизонтальних прискорень верху пошкодженого силосу №5 (частота за першою формою власних коливань сталевого каркасу силосу 1,63 Гц)

Згідно даних роботи [3] технічний стан сталевих конструкцій силосу №5 характеризується як аварійний (категорія технічного стану IV). Споруда потребує капітального ремонту із заміною та підсиленням пошкоджених конструкцій.

Список використаних джерел:

1. FEMA-426/BIPS-06. Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings. Edition 2. Buildings and Infrastructure Protection Series/ Homeland Security. - October 2011. – 514 p.
2. Немчинов Ю.І., Мар'єнков М. Г., Ємельяненко Л.В. Контроль та вібродіагностика будівельних конструкцій об'єкта «Укриття». В кн. Будівельні конструкції – К.:НДІБК, 2001, випуск 54, с. 76-79.

3. Фаренюк Г. Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень / Г. Фаренюк, О. Белоконь, Ю. Немчинов, М. Мар'єнков та ін. // Наука та будівництво. – 2022. – Вип. 32(2). – С. 3–18.

УДК 624.042

ВИЗНАЧЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ВПЛИВІВ НА ПЕРЕКРИТТЯ ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ПІД ЧАС МАСОВИХ ЗАХОДІВ

¹Мар'єнков, д.т.н., с.н.с.

²Бабік К.М., к.т.н., зав. лаб.

¹Пилипенко М.С., студ.

*¹Національний університет біоресурсів і природокористування;
²ДП«Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»*

Під час проведення масових заходів на перекриттях торговельно-розважальних центрів безпечна експлуатація несучих конструкцій повинна бути обґрунтована з урахуванням динамічних (імпульсних) навантажень при стрибках відвідувачів [1–4]. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі дослідження: 1) провести вібродинамічні випробування конструкцій; 2) розробити розрахункову модель будівлі, виконати верифікацію розрахункової моделі з урахуванням результатів вібродинамічних випробувань, визначити статичні та динамічні навантаження; 3) виконати перевірочні розрахунки несучої здатності елементів перекриття та каркасу з врахуванням динамічного впливу відвідувачів. Для розроблення рекомендацій щодо безпечної експлуатації будівлі із врахуванням динамічних впливів відвідувачів при проведенні масових заходів необхідно визначити імпульсні навантаження [5]. Методика розрахунку динамічних навантажень на перекриття наведена нижче.

Усереднена величина сили імпульсу P_d обчислюється за формулою [5]:

$$P_d = \frac{P_0}{\tau} \int_0^{\tau} f(t) dt \quad (1)$$

де P_0 – максимальне значення сили імпульсу; τ – час дії імпульсу.

Функції $f(t)$ при $0 \leq t \leq \tau$ для відповідних форм імпульсу наведені в таблиці 1, де також наведені значення інтегралів цих функцій та усереднені величини сили імпульсу.

Величина імпульсу сили I визначається в залежності від форми імпульсу за формулами:

а) трикутна форма імпульсу (форма 2 імпульсу)

$$I = P_0 \int_0^{\tau} f(t) dt = P_0 \frac{\tau}{2}. \quad (2)$$

б) прямокутна форма імпульсу (форма 1 імпульсу)

$$I = P_0 \int_0^{\tau} f(t) dt = P_0 \tau \quad (3)$$

Таблиця 1.

Значення функцій $f(t)$ та усереднених величин сили імпульсу

№ форми імпульсу	Функція		Усереднена величина сили імпульсу
1 (прямокутний імпульс)	$f(t) = 1$	τ	$P_d = P_0$
2 (трикутний імпульс)	$f(t) = 2t/\tau, (t \leq \tau/2);$ $f(t) = 2(1-t/\tau),$ $(t > \tau/2)$	$\tau/2$	$P_d = P_0/2$

З іншого боку, величина імпульсу I при прямому ударі тіла по конструкції визначається за формулою:

$$I = (Q/g) \cdot u_0 \cdot (1 + k_0), \quad (4)$$

де $Q = 0,7$ кН – вага людини, що вдаряє по конструкції під час стрибків; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; u_0 – швидкість людини, що вдаряє, на початку удару; $k_0 = 0,2$ – коефіцієнт відновлення при ударі підошви взуття по підлозі (плитки) тераси.

При висоті стрибка людини $H = 0,3$ м швидкість при ударі дорівнює:

$$u_0 = \sqrt{2gH} = 2,45 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт динамічності приймаємо $k_d = 2,0$.

Час дії імпульсу: $\tau = (1 + k_0) \cdot \sqrt{(2H/g)/k_d} = 0,2$ с.

Величина імпульсу I згідно (4): $I = 0,2$ кНс.

Максимальну та усереднену силу імпульсу визначаємо для двох варіантів:

а) трикутна форма імпульсу:

Максимальне значення сили імпульсу: $P_0 = 2 I / \tau = 2$ кН.

Усереднена величина сили імпульсу $P_d = P_0/2 = 1,0$ кН.

б) прямокутна форма імпульсу:

Максимальне значення сили імпульсу: $P_0 = I / \tau = 1,0$ кН.

Усереднена величина сили імпульсу $P_d = P_0 = 1,0$ кН.

У розрахунках приймається час дії імпульсу 0,2 с, трикутна або прямокутна форма імпульсу. Періодичність імпульсних навантажень $T = 0,4$ с. Кількість імпульсів дорівнює $N = 5$. Імпульсні (динамічні) навантаження приймаються за умови, що кожна людина вагою 0,7 кН діє на площі 1,0 м² перекриття.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.
2. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи.
3. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування.
5. Динамічний розрахунок будівель і споруд. Довідник проектувальника / під ред. Б.Г. Коренева, І.М. Рабіновича. – 1972. (рос. мов.).

УДК 514.18

КОНСТРУЮВАННЯ ЛІНІЙЧАТОЇ ПОВЕРХНІ МНОЖИНОЮ ПОЛОЖЕНЬ ОДНОГО ІЗ ОРТІВ ТРИГРАННИКА ДАРБУ

Несвідомін А.В., к.т.н., доц.

Пилипака С.Ф., д.т.н., проф.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Лінійчаті поверхні можна конструювати за допомогою рухомих тригранників прямої кривої. Множина положень ортів кожного із трьох тригранників опише у просторі лінійчату поверхню. Для супровідного тригранника Френе просторової кривої ці поверхні відомі: для орта дотичної відповідає розгортна поверхня, а для ортів головної нормалі і бінормалі нерозгортні поверхні. Аналогічно можна утворювати лінійчаті поверхні за допомогою рухомого тригранника Дарбу. Однак в цьому випадку напрямна крива повинна бути задана на поверхні, оскільки тригранник Дарбу рухається по кривій так, що два його орти $\bar{P}$ і $\bar{T}$ утворюють дотичну до цієї поверхні площину. На рис. 1,а за напрямну криву взято еліпс, який є плоским перерізом

циліндра. В точці M кривої побудовані два супровідних тригранники: Френе і Дарбу. Їхні орти $\bar{\tau}$ і $\bar{T}$ є дотичними до кривої і збігаються. Між ортом головної нормалі тригранника Френе і ортом $\bar{P}$ існує кут ε , який в даному випадку буде змінним. При русі тригранників по еліпсу величина кута ε змінюватиметься і в точці L буде дорівнювати 90° , оскільки головна нормаль $\bar{n}$ і нормаль до поверхні $\bar{N}$ будуть збігатися.

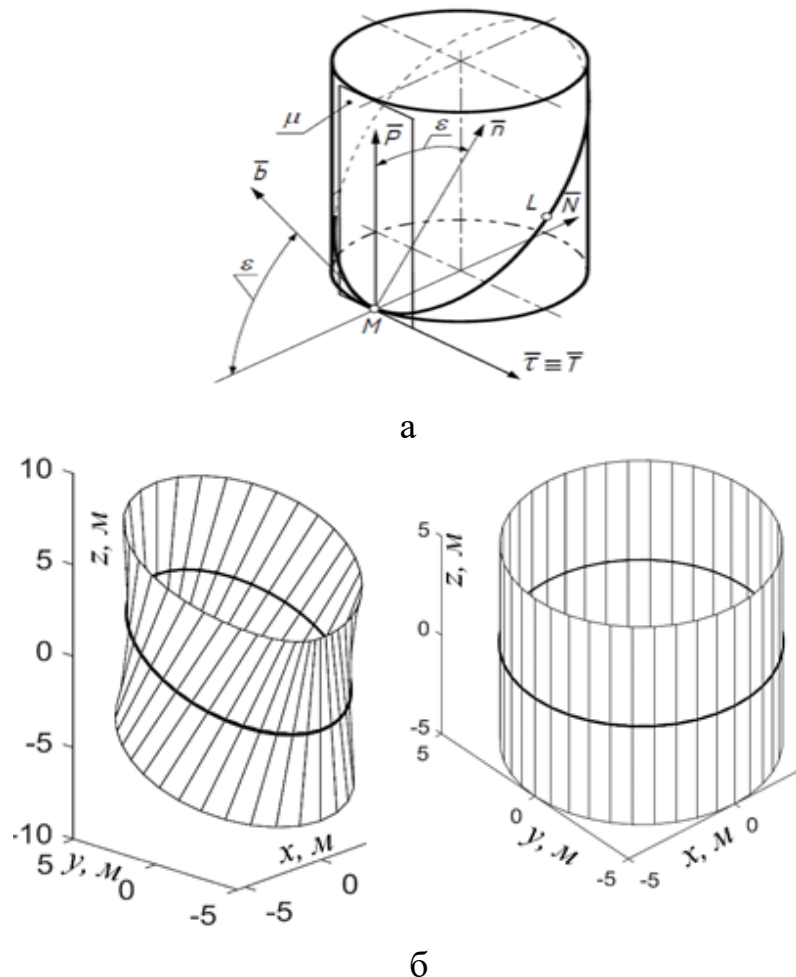


Рисунок 1 – Графічні ілюстрації до утворення лінійчатої поверхні з допомогою множини положень орта $\bar{P}$ тригранника Дарбу

На рис. 1,б поверхня утворена множиною положень орта $\bar{P}$ тригранника Дарбу. В протилежних точках великої осі еліпса прямолінійні твірні вертикальні, що відповідає рис. 1,а, а в інших нахилені до горизонтальної площини. Якщо перерізом циліндра є коло, то утвореною поверхнею цей же циліндр (рис. 1,в). Таким чином можна будувати лінійчаті поверхні, які відповідають множині положень двох інших ортів тригранника Дарбу.

ВИКОРИСТАННЯ СЕРВІСІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ З ПРИКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Несвідомін В.М., д.т.н., проф.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

На нашу думку, сучасні наукові дослідження, зокрема в прикладній геометрії, не можливо без використання швидко розвиваючих сервісів штучного інтелекту. Застосування подібних інтелектуальних сервісів не тільки спрощують рутинні завдання, наприклад, пошуку джерел, але й відкривають нові можливості для аналізу, візуалізації та синтезу знань. Так загальновідомі мовні моделі (ChatGPT, Gemini та багато інших) дозволили проаналізувати результати наукових досліджень з прикладної геометрії, виконаних на кафедрі нарисної геометрії та комп'ютерної графіки починаючи з 80-х років минулого століття. Для цього були підготовлені наявні автореферати захищених кандидатських дисертації для їх структурного аналізу сервісами штучного інтелекту, зокрема непогано це здійснив NotebookLM, з узагальнення поставлених наукових завдань, отриманих наукових новизни, ключових концепцій, подальших досліджень. Представлені результати представлялися в різноманітних формах – від таблиць до ментальних карт, які відображають логічні зв'язки між геометричними положеннями, алгоритмами та їхніми застосуваннями. Також непогано зарекомендувала технологія розробки «власного асистента» по виконанню таких інтелектуальних завдань, як пошук та автоматичний аналіз сучасних джерел як в текстовому, так і у візуальному форматі.

Оскільки наукові дослідження в прикладній геометрії кривих ліній та поверхонь передбачають досить складні аналітичні перетворення, використання диференціально-інтегрального числення, їх подальшого кодування в середовищах символічної алгебри, то і на цьому етапі використання сервісів штучного інтелекту є досить ефективним інструментом перевірки та створення математичного та програмного забезпечень. Звернемо увагу, що останні релізи CAS MapleSoft та Wolfram Mathematica мають вбудовані сервіси штучного інтелекту у вигляді бібліотек та мовних LM кодування задач, що значно спрощує їх набір та пропонує більш ефективні алгоритми їх рішення. Зрозуміло, що будь-хто із науковців опрацювати існуючий набір алгоритмів, які представлені, наприклад на сервері GitHub не

зможе, а ось наприклад. Claude 3.7 Sonnet це виконує за лічені секунди. За науковцем залишається вибрати, проаналізувати, протестувати та застосувати запропонований штучним інтелектом алгоритм. Це не означає, що науковці вже не потрібні, навпаки – їх діяльність повинна змінюватися з врахуванням бурхливого розвитку не повністю вивченого інтелектуального інструментарію (майже кожен місяць приносить нові бачення в науковій діяльності).

Майбутнє за органічним поєднанням людського та штучного інтелекту.

Примітка. Цей текст теж допомагав створювати штучний інтелект.

УДК 621.867:004.94

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ І РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЛАНЦЮГОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Квасницька К.Г., асист.

Харченко І.В., аспір.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні виробничі процеси дедалі активніше інтегрують адитивні технології, зокрема 3D-друк, як ефективний інструмент для прискорення ремонту та оптимізації конструкції деталей. Однією з актуальних сфер застосування є виготовлення та відновлення деталей ланцюгових транспортерів, що широко використовуються в аграрному та харчовому секторах.

Основні переваги використання 3D-друку в цій галузі:

- Скорочення термінів виготовлення: можливість оперативного виготовлення деталей без потреби в складному оснащенні чи ливарних формах.
- Індивідуальне проектування: 3D-моделювання дозволяє швидко вносити зміни до конструкції деталей з урахуванням особливостей експлуатації транспортерів.
- Відновлення зношених елементів: сканування зламаної або зношеної деталі дає змогу створити її цифрову копію та надрукувати заміну, навіть якщо оригінальна документація відсутня.
- Можливість використання сучасних матеріалів: полімери, армовані композити або металеві порошки забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики.

Серед викликів, що стримують широке впровадження 3D-друку, – потреба в забезпеченні механічної міцності деталей, сумісність матеріалів із робочими умовами (високе навантаження, абразивний знос), а також стандартизація процесів друку для масового застосування. Перспективи використання 3D-друку для обслуговування ланцюгових транспортерів залишаються значними. Йдеться не лише про оперативний ремонт, але й про створення покращених, модифікованих деталей, які можуть підвищити надійність та довговічність усього агрегату. У поєднанні з CAD/CAM-технологіями та автоматизованим контролем якості це відкриває нові можливості для гнучкого, економічного та інноваційного виробництва.

УДК 666.762:621.74

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ КЕРАМІЧНИХ ОБОЛОНКОВИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.

Квасницька К.Г., асист.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Якість литих виробів складної геометрії значною мірою залежить від характеристик керамічних оболонкових форм, зокрема їх газопроникності. Недостатня газопроникність може призвести до виникнення дефектів литва, таких як пористість, неповне заповнення форми або газові раковини. У даному дослідженні вивчено вплив складу керамічних суспензій, типу і фракційного складу наповнювачів, зв'язувальних компонентів та режимів сушіння на газопроникність оболонкових форм.

Експериментально визначено, що використання сферичних частинок електрокорунду та оптимізованої упаковки зерен дозволяє підвищити газопроникність кераміки на 15–25 % у порівнянні з традиційними системами на основі гідролізованого етилсилікату. Доведено, що водні зв'язувальні компоненти типу Remasol Premium Plus забезпечують формування рівномірної пористої структури оболонки без істотного зниження міцності форми. Також встановлено, що введення до складу керамічних суспензій модифікуючих добавок сприяє регулюванню капілярної структури та контролю газопроникності.

Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення технології виготовлення керамічних форм для лиття турбінних лопаток, корпусних деталей та інших високонавантажених елементів. Оптимізація газопроникності оболонкових форм дозволяє підвищити якість виливків, зменшити кількість відбракованої продукції та поліпшити стабільність литтєвих процесів у виробництві складнопрофільних деталей.

У процесі виготовлення керамічних оболонкових форм для лиття складнопрофільних деталей важливим показником є їх газопроникність, яка визначає можливість ефективного видалення газів під час заливки металу. Показано, що на газопроникність суттєво впливають розмір та форма частинок наповнювачів, щільність суспензії, кількість шарів та умови сушіння. Збільшення частки сферичних частинок у складі оболонки дозволяє підвищити газопроникність на 15–20 % у порівнянні з традиційними сумішами. Встановлено залежність між структурними характеристиками (пористістю, товщиною стінки) та швидкістю видалення газів із форми.

Оптимізація газопроникності сприяє зниженню ризику утворення дефектів типу "газові раковини" у виливках та забезпечує підвищення їхньої якості.

УДК 621.74

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Семеновський О.М., к.т.н., доц.

Похиленко Г.М., ст. викл.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В сучасному металознавстві одиниці всіх методів вимірювання твердості для їх практичного співставлення, залежно від масштабного фактору, прийнято порівнювати, через переведення їх величин до таких загальновизнаних методів, як Брінеля, Роквелла, або Віккерса.

Але навіть одиниці цих фундаментальних методів не відповідає самому фізичному змісту визначення твердості, як фізичної величини, в якому закладено не лінійний, або площинний зміст, а саме об'ємний. Для підтвердження цього наведемо класичне визначення твердості для твердого тіла «Твердість це здатність тіла чинити опір проникненню в нього іншого -

більш твердого тіла». Тобто не проникнення індентора через площу поверхні, як у випадку застосування методу Брінеля, або на певну глибину, як при дослідженні за методом Роквелла, або Віккерса.

При застосуванні цих методів ми маємо одиниці вимірювання, що не мають під собою фізичного підґрунтя. Тобто одиниці вимірювання являють собою співвідношення між навантаженням на індентор, заданої стандартизованої форми та розміром та площею, або глибиною відбитка. Хоча виходячи з фізичного змісту такої властивості, як твердість необхідно визначати співвідношення між навантаженням на індентор та об'ємом витісненого матеріалу.

В нашій роботі проведено порівняння одиниць вимірювання основних методів визначення твердості шляхом надання їм дійсного фізичного змісту і визначення залежності об'єму витісненого матеріалу від прикладеного навантаження, тому що співставлення саме цих величин дає можливість визначати співвідношення одиниць різних методів не базуючись на практичних порівняннях, а шляхом підведення теоретичної бази. Враховуючи різну форму інденторів, а також широкий діапазон зміни навантажень, необхідно для буде введення певних коефіцієнтів, які будуть враховувати ці масштабні фактори.

УДК 621.74

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕННЯ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

Семеновський О.М., к.т.н., доц.

Похиленко Г.М., ст. викл.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасна техніка висуває до конструкційних матеріалів все більш високі вимоги у відношенні експлуатаційних властивостей, а серійне та масове машинобудування у відношенні їх технологічності.

Недостатня технологічність сталей для шестерень, а саме недостатній рівень контактної втомної міцності після процесів хіміко-термічної обробки, вимагає проведення додаткових фінішних операцій, що значно знижує економічні показники виробництва.

Вибір марки сталі визначається умовами експлуатації, а також виходячи з технологічних можливостей устаткування. Вибір матеріалу в значній мірі визначає застосування відповідної технології зміцнення. Середньо-вуглецеві сталі, з яких виготовляються високомодульні зубчасті колеса, підлягають поверхневому зміцненню методом загартування струмами високої частоти, з наступним низьким чи середнім відпуском. Цей процес високопродуктивний, крім того характеризується мінімальним рівнем жолоблення деталей у процесі термообробки, що дає можливість значно спростити фінішні операції.

Однак, порівняльні дослідження мікроструктури, товщини і твердості зміцненого шару, внутрішніх напружень, контактної втомної міцності, зносостійкості, впливу температури відпуску на твердість поверхневого шару шестерень, зміцнених об'ємним гартуванням, індукційним поверхневим загартуванням і хіміко-термічною обробкою показали, що індукційне гартування не може бути застосоване для відповідальних деталей через можливість явищ самовідпуску, торцьового і кореневого розтріскування зубів, перегріву, підплавлення і плямистого загартування.

Застосування хіміко-термічної обробки забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик зміцненого шару у порівнянні з індукційним поверхневим гартуванням. Відзначається, що поверхнєве зміцнення хіміко-термічною обробкою дає можливість підвищити ресурс роботи зубчатого зачеплення в 2 рази, у порівнянні з об'ємним гартуванням. Отже, найбільш перспективною технологією зміцнення важко-навантажених деталей варто вважати хіміко-термічну обробку.

УДК 669:620.18

ВПЛИВ БОРУ НА ПРОГАРТОВАНІСТЬ СТАЛЕЙ

Похиленко Г.М., ст. викл.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Бор корисний як легуючий елемент у багатьох матеріалах, але він буде найбільш ефективним як легуючий елемент в сталі через його вплив на підвищення прогартуваності. Основний ефект бору в сталі полягає в покращенні прогартуваності, що помітно навіть при дуже малих концентраціях, близько 0,0010% (10 ppm). Бор додають до нелегованих та низьколегованих сталей для підвищення рівня твердості завдяки покращеній

прогартовуваності. Навіть у невеликих кількостях, до 100 ppm, бор забезпечує таке ж покращення прогартовуваності, як і інші дорожчі елементи, які необхідно додавати в набагато більших кількостях. Наприклад, додавання лише 30 ppm бору до сталей SAE може замінити приблизно 1% нікелю, 0,5% вуглецю, 0,2% марганцю, 0,12% ванадію, 0,3% молібдену або 0,4% хрому. При додаванні до швидкорізальних сталей, наприклад, тих, що містять 18% вольфраму, 4% хрому та 1% ванадію, бор покращує ріжучі властивості, одночасно знижуючи ковальські якості. Вирішальним механізмом для покращення прогартовуваності бором є затримка перетворення в структури бейніту, фериту та перліту, які м'якші за мартенсит. Якщо цьому не перешкоджає бор, ці м'якші структури утворюватимуться під час охолодження від температури аустенітизації після відпалу або гарячої обробки. Загальновизнано, що прогартовуваність досягає піку, коли вміст бору становить від 3 до 15 ppm. Надмірна кількість бору (>30 ppm) може спричинити сегрегацію на межах зерен аустеніту, що не тільки знижує прогартовуваність, але й може зменшити в'язкість, спричинити окрихчення та призвести до гарячої короткостійкості. Вплив бору на прогартовуваність також обернено корелює з вмістом вуглецю в сталі. Бор повинен перебувати в атомарному стані для покращення гартування, що вимагає пильної уваги під час виробництва сталі для забезпечення ефективності. Бор може стати неефективним, якщо його стан змінюється внаслідок неправильної термічної обробки. Гартування сильно залежить від поведінки кисню, вуглецю та азоту, присутніх у сталі. Бор реагує з киснем, утворюючи оксид бору (B_2O_3), з вуглецем, утворюючи залізоборцементит ($Fe_3(CB)$) та залізоборкарбід ($Fe_{23}(CB)_6$), а з азотом, утворюючи нітрид бору (BN). Втрати бору внаслідок окислення запобігають додаванню бору до кремній-алюмінієвих заспокійливих сталей та використанню належної практики роботи з ковшем та формою. Сильні нітридоутворювачі, такі як титан, алюміній та цирконій, захищають бор від реакції з азотом. Наприклад, якщо азот фіксується за допомогою титану, задовільна гартування досягається за температур до $1000^{\circ}C$, за умови, що сталь містить близько 5-20 ppm бору. Гартування борної сталі також тісно пов'язане з умовами аустенітизації та зазвичай знижується при нагріванні вище $1000^{\circ}C$. Крім того, борну сталь необхідно відпускати за нижчих температур, ніж інші леговані сталі з порівнянною гартуванням, щоб зберегти свої корисні властивості.

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Лопатько К.Г., д.т.н., проф.,
Соснов В.С.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Дослідження, проведені в Україні і провідних країнах світу протягом останніх двадцяти років, показали високу ефективність застосування колоїдних розчинів нанорозмірних (до 100 нм) частинок біологічно активних металів у медицині, біології та мікробіології [1-4].

Дослідження авторів та аналіз літературних джерел показали, що ефективність біогенної та біоцидної дій колоїдної форми препаратів на основі наночастинок металів підвищується, якщо розмір твердої фази відповідає у діапазоні 20 – 100 нм, частинки однорідні за розмірами, формою, хімічним складом і структурно-фазовим складом. Такі розчини будуть мати високу агрегативну та седиментаційну стійкість, що відповідає достатньому значенню електрокінетичного потенціалу системи, малій їх масі і високій однорідності та є непрямым показником їх якості. Досягнення вказаних параметрів забезпечує метод об'ємного електроіскрового диспергування, який зарекомендував себе як один з найефективніших і технологічних при виробництві нанорозмірних об'єктів [5-7]. Спільні дослідження вчених Інституту електродинаміки НАН України та Національного університету природокористування та біоресурсів України за останні роки дозволили розвинути даний метод у напрямку підвищення кількості наноструктурних частинок в кінцевій продукції до 80% за рахунок використання нового електрофізичного підходу - примусової механічної активації шару вихідних гранул металу безпосередньо у процесі їх об'ємного електроіскрового диспергування.

Метою досліджень було вивчення впливу параметрів розрядних імпульсів і технологічних умов отримання наноструктурних частинок біологічно активних металів методом об'ємного електроіскрового диспергування у воді на їх розміри та седиментаційну стійкість, а також розробка на цій основі нових підходів створення розрядно-імпульсних систем.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- аналіз значимості чинників, що підвищують дисперсність і однорідність іскроерозійних частинок у процесі їх отримання;
- розробка та дослідження ефективності способів забезпечення оптимальних значень факторів, що підвищують дисперсність і однорідність іскроерозійних частинок;
- визначення впливу параметрів іскроерозійних частинок металів і дисперсійного середовища на седиментаційну стійкість колоїдних систем;
- розробка та створення розрядно-імпульсної системи виробництва наноколоїдних розчинів біологічно активних металів методом об'ємного електроіскрового диспергування;
- дослідження структури та властивостей отриманих іскроерозійних частинок біологічно активних металів та їх колоїдних систем.

Аналіз факторів підвищення дисперсності іскроерозійних частинок при об'ємному електроіскровому диспергуванні. Як відомо, підвищення дисперсності іскроерозійних частинок сприяє: збільшенню швидкості міграції іскрових каналів по поверхні гранул, наростання, спаду струму в іскровому каналі і напруги на ньому, зниженню тривалості розрядних імпульсів, енергії одиночного іскріння і швидкості поширення температури вглиб гранул [4,8]. Слід зазначити, що зниження енергії одиночного іскрового розряду не може відбуватися до безмежно малої величини. Енергії розряду має бути достатньо для випаровування або хоча б розплавлення мінімальної порції металу гранул, достатньої для утворення однієї іскроерозійної частки з урахуванням втрат на розігрівання приконтakтної області гранул.

У роботі проведено аналіз факторів, що підвищують дисперсність і однорідність іскроерозійних частинок металів, одержуваних методом об'ємного електроіскрового диспергування на стадіях розплавлення і випаровування частини металу з приконтантної зони гранули, перехід частини металу у парогазову фазу та конденсація парів металу з утворенням нанофракції. Серед двох методів підвищення дисперсності іскроерозійних частинок (перший - збільшення швидкості наростання потужності в одиночному іскровому контакті; другий - зниження тривалості імпульсу струму в ньому і швидкості поширення тепла у зони іскріння) виділимо другий, як найбільш дієвий.

Збільшення швидкостей наростання напруги та струму, як правило, призводить до зростання їх амплітудних значень, а, отже, і енергії розряду. Це, у свою чергу, сприяє збільшенню обсягу порції металу, що плавиться і, як наслідок, розміру іскроерозійних частинок. Попередня іскроерозійна обробка поверхні гранул з метою зниження її температуропровідності приносить помітний ефект лише на початковій стадії процесу диспергування, прискорюючи вихід параметрів на сталий режим.

Список використаних джерел:

1. Veklich, A., Lopatko, K. *et al.* (2020). Regulation of Biological Processes with Complexions of Metals Produced by Underwater Spark Discharge. In: Fesenko, O., Yatsenko, L. (eds) *Nanooptics and Photonics, Nanochemistry and Nanobiotechnology, and Their Applications*. // Springer. ***Proceedings in Physics***, vol. 247. Pp. 283-306. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52268-1_23
2. N. Poyedinok, *et al.* (2020). Effect of Colloidal Metal Nanoparticles on Biomass, Polysaccharides, Flavonoids, and Melanin Accumulation in Medicinal Mushroom *Inonotus obliquus*. // Springer. ***Appl Biochemiotechnol*** 191, 1315–1325 (2020). DOI: 10.1007/s12010-020-03281-2
3. Zakharchenko S.M., Shydlovska N.A., Perekos A.O., Lopatko K.G., Savluk O.S. Features of obtaining of plasma-erosion nanodispersed silver hydrosols and

their bactericidal and fungicidal properties // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii* 42(6), 2020. Pp. 829-851. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.06.0829>

4. Application of volumetric spark-electron dispersion for obtaining sedimentation-stable hydrosols of biologically active metals / *А.А.Щерба, С.Н.Захарченко, К.Г.Лопатько, Е.Г.Афтандилянц* // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2009. – №22. – С. 74–79.

5. Development of systems for producing ultrafine spark-erosion powders: the influence of vibration on the parameters of discharge pulses and product characteristics / *А.А.Щерба, С.Н.Захарченко, С.А.Яцюк, К.Г.Лопатько, Е.Г.Афтандилянц [та ін.]* // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск Проблеми сучасної електротехніки. – 2008. – Ч. 4. – С. 107 – 112.

6. *Shcherba A.A., Zakharchenko S.N., Shevchenko N.I., Suprunovskaya N.I.* Thyristor Discharge Pulse Generator with Controllable Parameters for Thechnological System for Volumetric Electric Spark Dispersion of Metal Granules // Техн. електродинаміка. Тематичний випуск Силова електроніка та енерго-ефективність, – 2005.– Ч.1. – С.57 – 60.

7. *Shcherba A.A., Zakharchenko S.N., Suprunovskaya N.I., Shevchenko N.I.* The influence of repetition rate of discharge pulses on electrical resistance of current-conducting granular layer during its electric-spark treatment // Технічна електродинаміка.– 2006.– №2.– С. 10 – 14.

ОТРИМАННЯ КОЛОЇДНОЇ ФОРМИ ЗАЛІЗА ТА ЦИНКУ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ РІДКИХ ВУГЛЕВОДІВ

*Лопатько К.Г., д.т.н., проф.,
Мручок М.Ю.*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Застосування наночастинок металів у вуглеводневих паливах є перспективним напрямком для покращення експлуатаційних та екологічних характеристик палива. Додавання таких наноматеріалів може позитивно впливати на процеси згоряння, знижуючи токсичність викидів та підвищуючи ефективність роботи двигунів.

Проведення модифікації твердих або рідких речовин передбачає не тільки малі кількості модифікуючої компоненти, а й високу дисперсність модифікатору. Таким вимогам відповідають спеціально синтезовані неорганічні сполуки, зокрема наночастинок металів та їх сплавів. Ефективність застосування наночастинок металів обумовлена не тільки розмірним фактором, але й більш інтенсивною взаємодією частинок з будь-яким оточуючим середовищем, особливо при умові спільного утворення систем, наприклад колоїдної системи: дисперсна фаза – дисперсійне середовище.

Для отримання колоїдних систем із задовільною стабільністю розглядається метод електроіскрового руйнування, в основу якого покладено фізичне явище іскрового розряду у дисперсійному середовищі.

Переваги методу електроіскрового руйнування:

- Висока дисперсність. Однією з основних переваг методу є здатність досягти дуже високої дисперсії частинок, що дозволяє створювати стійкі колоїдні системи.

- Інтенсивна взаємодія частинок. Завдяки малій розмірності наночастинок збільшується їх реакційна поверхня, що підвищує ефективність взаємодії з оточуючим середовищем.

- Стабільність суспензій. Використання тиристорних генераторів розрядних імпульсів дозволяє контролювати енергію імпульсів, що важливо для досягнення необхідної стабільності суспензії металевих частинок у органічних розчинах.

Так, методом об'ємного електроіскрового руйнування металевих гранул нами отримано суспензії субмікронних частинок металу у органічних розчинах. Дослідження проводились з використанням тиристорних генераторів розрядних імпульсів з конденсаторними накопичувачами енергії. Основні електрофізичні параметрами процесу та параметри розрядного контуру наведені у таблиці.

Таблиця 1. Параметри розрядного контуру

Індуктивність ланцюга, мкГн	Напруга зарядки конденсатора, В	Емність конденсатора, мкФ	Опір камери, Ω	Тривалість імпульсу, мкСек
~ 1	50...100	25...100	0,15...1,5	10...100

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИВОДУ СТІЛИ ДВОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА

Коробенко Я.В., аспір.

Мищук Д.А., к.т.н., доц.

Київський національний університет будівництва і архітектури

При роботі механічної системи стріли маніпулятора відбувається почергова зміна режимів його руху з підймання та опускання вантажу. При підйманні вантажів витрачається значно більше енергії ніж при опусканні. Така нерівномірність енерговитрат значно знижує ефективність роботи приводних механізмів маніпулятора [1, 2].

Відомо, що потужність механічної системи визначається, як добуток рушійного моменту та кутової швидкості [3]. З досліджень багатьох авторів також відомо, що рушійний момент приводу може бути оптимізовано за критеріями, які дозволяють якісно знизити надлишкові динамічні навантаження, а кутова швидкість може бути програмно відтворено за плавним характером руху [4, 5]. Все це дає підстави стверджувати, що енерговитрати в стріловій системі маніпулятора можуть бути знижені, якщо застосовувати оптимізовані режими руху стрілової системи.

В даному дослідженні пропонується розглянути методику побудови математичної моделі дволанкового маніпулятора для аналізу закономірності зміни потужності в його приводних механізмах.

Розглянуто шарнірно-зчленовану стрілову систему маніпулятора з кутовою системою координат (див. Рис. 1). Стріла маніпулятора складається з балки 1 довжиною l_1 , яка здійснює поворот навколо точки O та балки 2 довжиною l_2 , яка виконує складний просторовий рух. В подальшому вважатиметься, що ланка 2 обертається навколо власної точки симетрії, яка в свою чергу також здійснює лінійне переміщення на площині. Центри мас кожної з рухомих ланок зосереджено в їхніх геометричних центрах та позначено m_1 і m_2 , відповідно. За узагальнені координати для розглядуваної системи маніпулятора прийнято кути повороту α та β .

З рівнянь Лагранжа 2-го роду визначено функції для розрахунку рушійних моментів приводу, зокрема:

$$M_1 = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} + m_1 g \frac{y_1}{\partial \alpha} + m_2 g \frac{y_2}{\partial \alpha}, \quad (1)$$

$$M_2 = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} - \frac{\partial T}{\partial \beta} + m_1 g \frac{y_1}{\partial \beta} + m_2 g \frac{y_2}{\partial \beta}, \quad (2)$$

де T - кінетична енергія механічної системи.

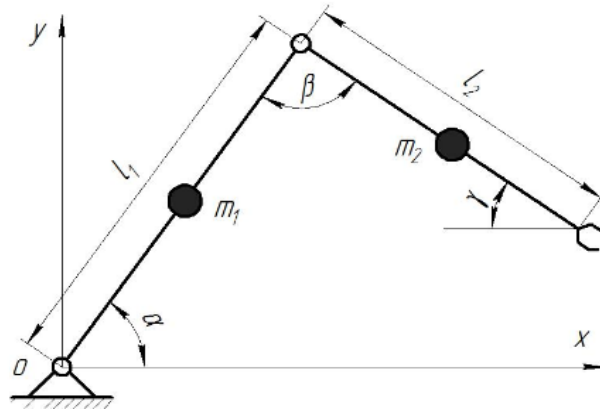


Рисунок 1 – Кінематична схема дволанкової шарнірно-зчленованої стрілової системи маніпулятора

Кінетична енергія дволанкової стріли дорівнюватиме:

$$T = \frac{1}{2} (J_{01} \dot{\alpha}^2 + J_{s2} \dot{\gamma}^2 + m_2 \dot{x}_2^2 + m_2 \dot{y}_2^2), \quad (3)$$

де $\gamma = \pi - \alpha - \beta$; $x_2 = l_1 \cos \alpha + \frac{1}{2} l_2 \cos \gamma$; $y_2 = l_1 \sin \alpha - \frac{1}{2} l_2 \sin \gamma$.

Кутові швидкості рухомих ланок стріли визначимо через похідні від кутів їхнього повороту:

$$\omega_1 = \frac{d\alpha}{dt}; \quad (4)$$

$$\omega_2 = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\alpha}{dt} + \frac{d\beta}{dt}. \quad (5)$$

Потужність приводу на переміщення рухомих ланок стрілової системи маніпулятора буде дорівнювати:

- для ланки 1:

$$N_1 = M_1 \omega_1; \quad (6)$$

- для ланки 2:

$$N_2 = M_2 \omega_2. \quad (7)$$

Отримані залежності дозволяють оцінити зміни витрат потужності в приводних механізмах. На рис. 2 - 4 показано результати моделювання зміни кутів повороту стріли та витрат потужності для заданих типових режимів руху.

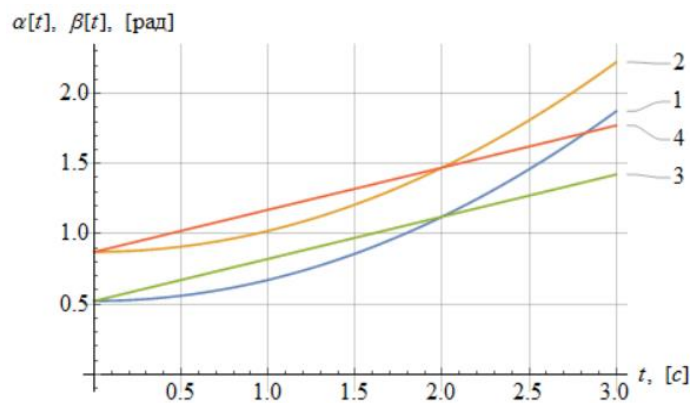


Рисунок 2 – Графіки зміни кута поворот для різних режимів руху: 1, 3 – для кута α ; 2, 4 – для кута β ; 1, 2 – для типового режиму руху, який визначається залежністю $x_0 + 0,3t^2$; 3, 4 – для типового режиму руху, який визначається залежністю $x_0 + 0,3t$, де x_0 – початкове значення кута

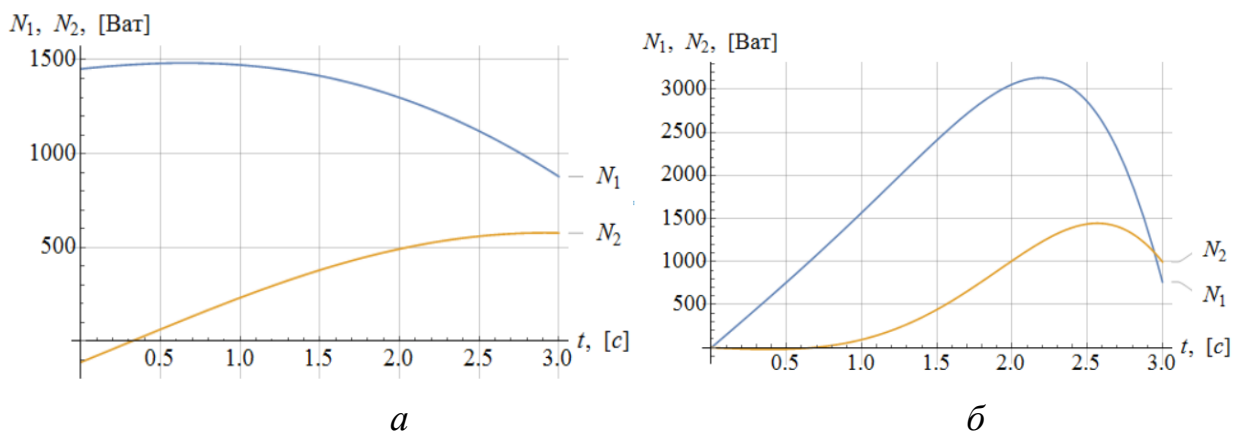


Рисунок 3 – Графіки змін потужності приводу ланки 1 (N_1) та ланки 2 (N_2) для типового лінійного (а) рівномірного режиму руху ($x_0 + 0,3t$) та типового параболічного (б) режиму руху ($x_0 + 0,3t^2$)

Список використаних джерел:

1. Korobenko Y., Mishchuk D., Sankin I. Research of relationships between the technical parameters of industrial manipulators. *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*. 2023. Vol. 102. P. 65–73.
2. Loveikin V. S., Romasevych Yu. O., Spodoba O. O., Loveikin A. V., Pochka K. I. Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. No. 104. P. 175-190.

3. Loveykin V. S., Mishchuk D. O., Mishchuk Ye. O. Optimization of manipulator's motion mode on elastic base according to the criteria of the minimum central square value of drive torque. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2022. No. 109. P. 403-415.

УДК 69.057.7

DEVELOPMENT OF RUNNING EQUIPMENT OF THE CONSTRUCTION TRANSPORT MODULE

Bilokon S., graduate stud.

Blyzniuk O., stud.

Rashkivskyi V., Ph.D.

Kyiv National University of Construction and Architecture

In modern construction, the use of functional modules that are capable of performing the tasks with minimal transformations is relevant. At construction sites, there is a need to use mobile transport modules that are able to adapt to difficult terrain conditions and limited construction space. The disadvantages of traditional running systems - low cross-country ability, limited unification and complexity of the design - encourage the development of new design solutions. The purpose of the study is to develop running equipment for a construction transport module with increased mobility and reliability.

1. Problem statement:

Existing chassis of construction equipment usually have a narrow specialization and do not take into account the requirements for quick assembly, versatility and modularity. The problem is to develop a chassis that would be compatible with unified modules for various purposes.

2. Research methodology:

The design was developed using CAD/CAE systems.

A static and kinematic analysis of the design was performed. A multi-axle wheeled platform with independent suspension was chosen as the main option.

To increase the efficiency of the machine, it is proposed to install a special hydraulic suspension on the earthmoving machine (Fig. 1), which allows for improved movement by perceiving multidirectional loads with their subsequent damping and the ability to adjust the stiffness of the suspension itself.

The development task was to implement the ability to perceive and dampen loads from all directions of action, as well as the ability to adjust the stiffness of the suspension itself and even the ability to change the clearance of the machine or mechanism in relation to the area of use.

For this, it is made in the form of a non-rigid structure with ball-shaped supports. The structure itself is made of three multi-directional cylinders (the minimum schematic implementation consists of two cylinders), which are interconnected by a hydraulic line (flexible or rigid) and transmit the action forces to other cylinders and a shock absorber connected in parallel. The piston-action shock absorber is spring-loaded on the other side of the liquid (designs with air or other load dampers are possible) and has a spring compression screw, and accordingly, adjustment of its stiffness. With an electromechanical drive for rotating the screw, the system can be with automatic adjustment.

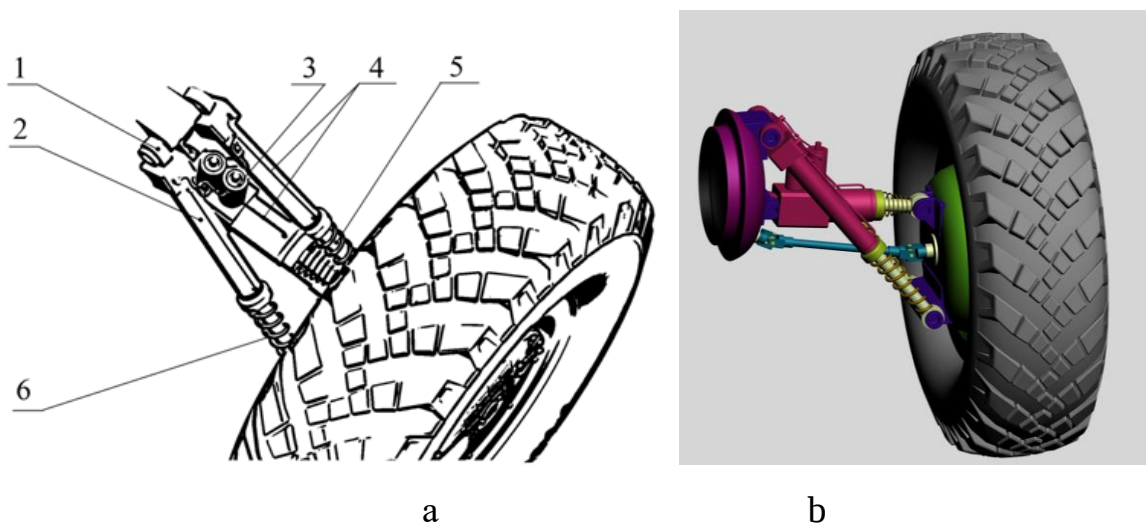


Fig. 1 General view of one of the schemes of the proposed equipment: a – general view; b – 3D model

3. Main results:

To implement the adaptation of the running equipment to external influences, a scheme of the hydraulic suspension of the running equipment has been developed. The hydraulic suspension includes (Fig. 2) shock absorbers 2, which are connected to the transport module body on ball bearings 1, and cylinder rods 5 to the wheel hub 9. The cylinders are interconnected by a system of hydraulic lines 4, which are connected by hinges at the turning points, a hydraulic shock absorber 3 and compensating springs 6.

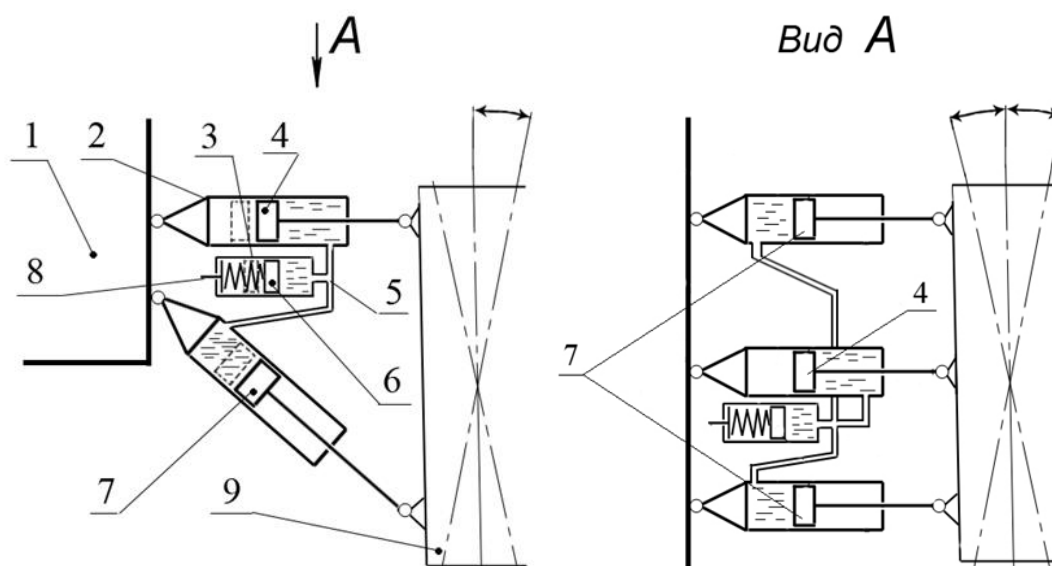


Fig. 2 Hydraulic diagram of the suspension, direct acting

The hydraulic suspension works as follows. The load when meeting an obstacle is transmitted through the compression of the cylinder piston 7 to the fluid, which, flowing through the hydraulic line 5, transfers it to other cavities of the hydraulic cylinders and the hydraulic shock absorber 3. The return cavity of the hydraulic cylinder can act on spring elements, a hydraulic circuit of similar action from the above, an air circuit or another combined one. The entire mechanism is hingedly attached to the body of the transport module 1 and the wheel hub.

A certain volume of fluid flows into the hydraulic cylinder 2, acting on the piston 4, thereby preventing the system from disturbing the vertical position.

The main hydraulic effect is supplied to the hydraulic shock absorber 3 and through the piston 6 acts on the spring (or other elastic element), which, compressing, cushions and tries to return the system to equilibrium. Screw 8 in the hydraulic shock absorber compresses the shock-absorbing spring, thereby increasing its stiffness, and in antiphase action with the return shock absorber changes the clearance of the transport module.

4. Conclusions:

The developed system of running equipment allows to increase the efficiency of construction transport modules in difficult conditions. It can be easily adapted to modular platforms for various purposes. In the future - the integration of automatic control systems and adaptive suspension.

RESEARCH OF THE PARAMETRIC MODEL OF THE MOVING TECHNOLOGICAL MODULE FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION WORKS

Zayets Y., graduate stud.

Rashkivsky V., Ph.D.

Kyiv National University of Construction and Architecture

Increasing the efficiency of monolithic construction is associated with the introduction of mobile technological systems capable of performing the functions of mixing, transporting and laying concrete mixtures. One of the promising areas is the creation of parametric models of such modules to optimize their geometry, kinematics and functional load.

1. Problem statement:

In the context of the growth of the scale of monolithic construction, there is a need for mobile automated platforms that ensure the comprehensive implementation of technological operations. Existing models do not take into account the variable parameters of the construction object and have limited adaptability.

2. Research methodology:

The construction of the parametric model was carried out in CAD/PDM systems using geometric parameterization and kinematic analysis. The main variable parameters included:

- L — module height,
- H — module width,

The model took into account the variability of parameters in real time with the possibility of adaptive regulation.

3. Main results:

To simulate the basic system of the construction with a monolithic frame, the assembly process was simulated using a movable formwork module (fig. 1) in 1:10 scale.

The formed monitoring system allows (fig.2) modeling and researching the behavior of mechanized technological equipment during the construction of buildings. It allows you to monitor the condition of assembled and assembled structures, detect their manufacturing defects and fatigue damage, compare data obtained with a certain discretization in time, etc.

It is expected that the formed monitoring system will allow filling the information model of construction processes, forming digital duplicates of construction structures, improving the construction processes of buildings with a prefabricated and monolithic frame by improving the automation of processes, will provide the possibility of virtual simulation of such processes for training and identifying problem situations.

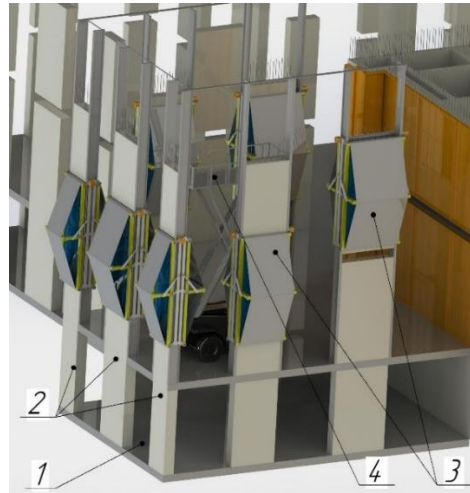


Figure 1. the scheme of execution of monolithic works using the technological module for concreting pylons: 1 – base; 2 – pylons; 3 – technological module; 4 – service platform

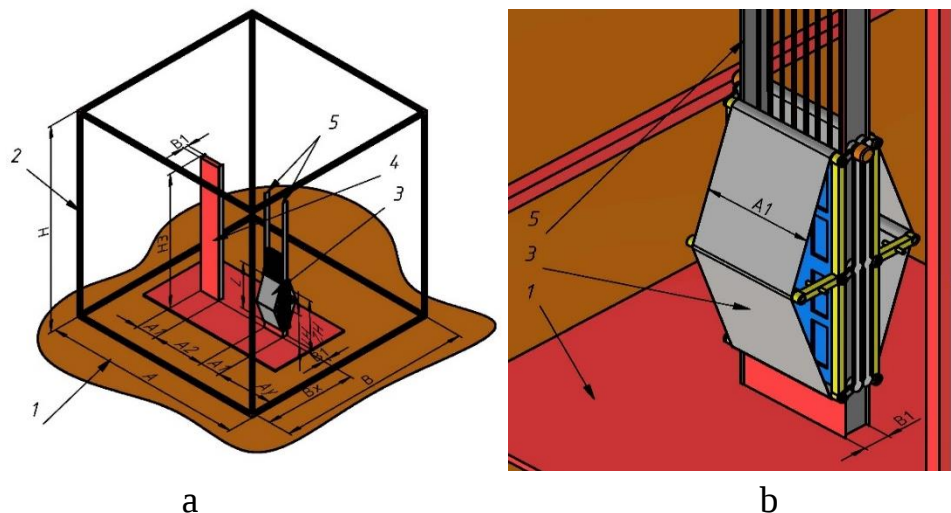


Figure 2. General view of the modeling scheme of the building construction process with a monolithic frame: 1 – base; 2 – limiting frame; 3 – mobile formwork module; 4 – formed monolithic structure; 5 – movement guides of the module; a – main view; b – enlarged view

Conclusions:

The system for modeling construction processes is constantly changing and being supplemented, it can be used for both static and dynamic data acquisition of

construction objects and their components. The results of obtaining a full information system can take place in many related fields.

Parametric modeling allows you to adapt the design of a mobile technological module to changing construction conditions. The results obtained can be used to create adaptive mechanized systems for monolithic construction, in particular in complex spatial conditions.

УДК 69.057.7

RESEARCH INTO THE COMPOSITION OF THE MECHANIZED SECTION OF THE MECHANICAL ASSEMBLY TEAM

Muliar V., graduate stud.

Rashkivskyi V., Ph.D.

Kyiv National University of Construction and Architecture

In modern construction, there is a growing need for effective formation of mechanized sections for the installation of structures, which are performed using engineering machinery, lifting and transport equipment and auxiliary technological devices. The purpose of this study is to determine the optimal composition of the mechanized section to ensure a continuous and highly productive installation process.

1. Problem statement:

Insufficient coordination of technical means in the assembly team leads to downtime, reduced efficiency and disruption of the technological sequence of operations. An important task is the integration of mechanisms and workplaces into a single functional system.

2. Research methodology:

The analysis was carried out taking into account:

- type of construction object (prefabricated, monolithic, combined),
- volume of installation work,
- number of shifts per day,
- cycle time for the installation of 1 element.

The composition of the site was modeled taking into account the coefficient of process mechanization:

The mechanization of installation work is mainly determined by labor productivity, therefore, the labor productivity indicator was adopted for its assessment

$$\Pi = \frac{Q}{T},$$

Q – volume of work, t; T – labor costs, man-days.

Quantity of each type of tool N_i , necessary to perform the entire volume of operations, is determined by the dependence

$$N_i = \frac{Q}{T_r \cdot \Pi \cdot K_0},$$

Q – volume of operations performed by the instrument in 1 year, m; m²; pcs.;

Π – tool productivity, m/min or m²/min or pcs/min;

T_r – duration of working hours per year, min;

K_0 – average tool utilization rate.

The required quantity of each type of tool is determined based on:

$$N_i = 0,15 \cdot n \cdot t + 5,$$

n – average number of tool requirements per shift per division, pcs.;

t – average time of tool use during one shift, hours.

To perform dismantling work, the balance between:

- lifting mechanisms (cranes, winches),
- moving modules,
- tool assemblies (screwdrivers, welding units),
- service personnel was studied.

As a result of the study, a typical structure of a mechanized section for a team of 5 people was formed; the optimal ratio was proposed: 1 mechanism per 2 workers, at which the mechanization coefficient $K_m=0.83$ was achieved. At the same time, a block-modular construction of technical support is considered - for the implementation of flexible control of a mechanized assembly line.

4. Conclusions:

A systematic study of the composition of a mechanized section makes it possible to form a mobile, adaptive and highly efficient assembly group that is able to function in different conditions. Further development consists in the introduction of digital control and automation of the assembly process.

SIMULATION OF A SPATIAL MOVING KNIFE OF A DUMP WORKING BODY

Fedyshyn B., assist.

Kyiv National University of Construction and Architecture

Dumping working bodies are widely used in earthmoving and planning works. The spatial movement of the knife significantly affects the efficiency of soil cutting, the uniformity of load distribution and tool wear. The aim of the work is to build a mathematical and visual model of the spatial movement of a dump-type knife, taking into account the complex trajectory of movement and force load.

1. Problem statement:

Traditional dumps have fixed geometric parameters or a limited number of degrees of freedom. This leads to inefficient cutting of soil on complex terrain profiles and overloading of individual elements of the knife structure. It is necessary to carry out modeling that will optimize the shape and trajectory of movement.

2. Modeling methodology:

The knife model is considered as a rigid body with a spatial arrangement of the planes of application of destructive force with the possibility of linear movement in the direction perpendicular to its feed.

Used:

- finite element method for stress analysis;
- computer 3D modeling (Autodesk Inventor);

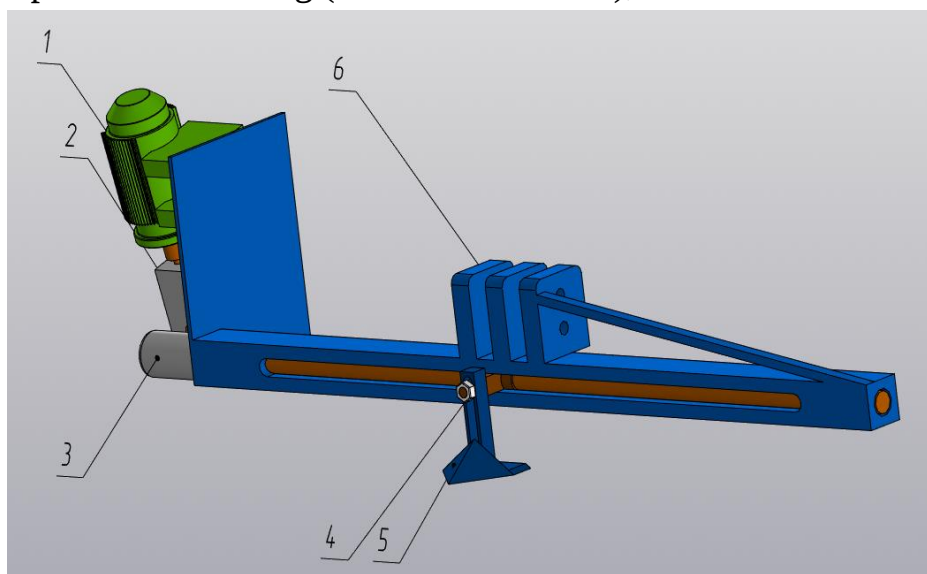


Fig. 1 Model of a spatially movable knife of a dump working body

3. Research results:

- A digital model of a knife with an adjustable spatial position was built.
- The angles of attack in the range of 25–35° were optimized for sandy and loamy soils.
- Critical areas of stress concentration were determined - in the places of attachment of the knife to the body.
- The use of steels with a tensile strength of at least 850 MPa was recommended.

4. Conclusions:

The modeling allowed us to improve the design of the knife, optimize the design of the test stand, the trajectory of its movement, which ensures uniform loading, reduced wear and energy optimum. Further research is planned in the direction of developing adaptive control of knife movement modes depending on the type of working environment.

УДК 69.057.7

CREATION OF PARAMETRIC MODELS OF CONSTRUCTION MACHINERY DRIVE ELEMENTS

Prystailo M., Ph.D.

Drachuk V., graduate stud.

Gonta I., graduate stud.

Kyiv National University of Construction and Architecture

Improving the drive systems of construction machines requires flexible and adaptive engineering solutions. Parametric modeling allows you to quickly generate various configurations of drive elements - gears, couplings, shafts, hydraulic cylinders - with the ability to automatically update their geometry when changing input characteristics. The purpose of the study is to develop parametric models of key drive components, taking into account kinematic and force loads.

1. Problem statement:

Current construction machinery designs are often designed manually without taking into account variable operating parameters. This complicates the adaptation of machines to different operating conditions and lengthens the design cycle. It is necessary to create universal digital models that can be scaled and quickly modified.

2. Research methodology:

Parametric models were built in a CAD environment (Autodesk Inventor) using parametric relationships and mathematical expressions. During the study, a mobile platform was considered (Fig. 1), in which the dependence of eccentric actuators was analyzed in accordance with the kinematics of the movement of the output links of the platform.

The advantages of parametric modeling are the rapid evaluation of geometric, mass-inertial characteristics in accordance with changes in the initial operating conditions.

3. Research results:

- A parametric model of a mobile mobile platform was constructed.
- The model is automatically updated when the input data changes (platform geometry, platform frame bearing capacity).
- A 35–40% reduction in development time was ensured.
- Force load modeling was carried out and cross-sections were optimized to reduce mass.

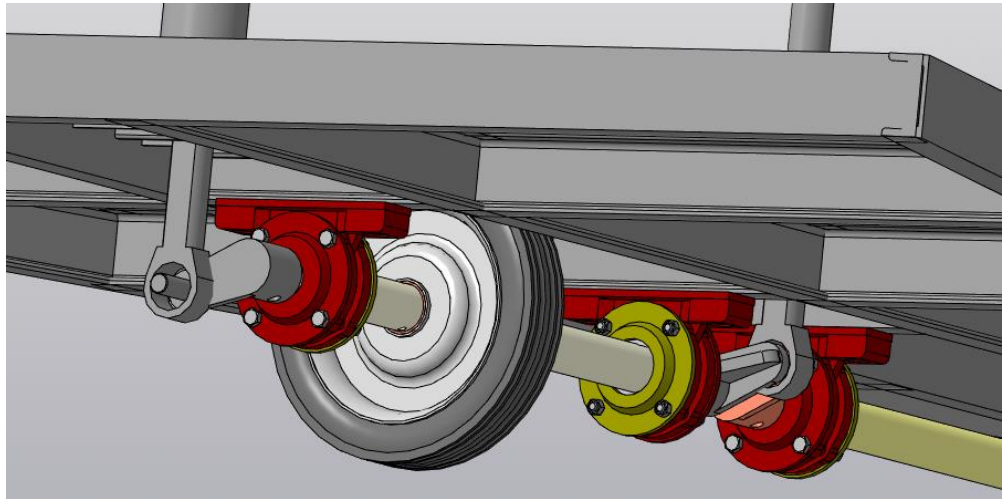


Fig. 1 Spatial parametric model of a mobile platform

4. Conclusions:

Parametric modeling is an effective tool for designing and modifying drive elements of construction machines. Its implementation reduces design time, increases accuracy, and allows for a modular approach to assembling structures. In further work, it is planned to integrate models into PDM/PLM systems.

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З РІЗНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЖОРСТКОСТІ

*Пишук Р.Р., аспір.
Бакай Б.Я., к.т.н., доц.*

Національний лісотехнічний університет України

Топологічна оптимізація утвердилася як потужний інструментарій у сучасному машинобудуванні, дозволяє інженерам проєктувати конструкції з раціональним розподілом матеріалу для досягнення максимальної ефективності з врахуванням заданих навантажень та обмежень. Цей підхід особливо цінний для зниження маси деталей при збереженні або навіть покращенні їх міцнісних та жорсткісних характеристик, що є критично важливим для вирішення завдань машинобудування. Проте, існування різних методів топологічної оптимізації, таких як метод SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization – метод з штрафною функцією для щільності матеріалу), гомогенізаційний метод (Homogenization Method) та метод рівня-сетів (Level Set Method), ставить питання про їх порівняльну ефективність та доцільність застосування залежно від специфіки інженерної задачі, зокрема, від механічних властивостей використовуваного матеріалу. Для об'єктивного порівняння було проведено дослідження на прикладі стандартної задачі машинобудування – оптимізації консольної балки, закріпленої з одного кінця та навантаженої силою на вільному кінці. Ключовою відмінністю дослідження стало використання трьох матеріалів, що суттєво різняться за модулем Юнга, представляючи категорії високої (сталь), середньої (алюміній) та низької (композитний матеріал) жорсткості (табл. 1). Це дозволило оцінити вплив жорсткості матеріалу на результати оптимізації, отримані за допомогою різних методів. Кожен з методів має свої концептуальні основи: SIMP оперує поняттям умовної щільності матеріалу в кожному елементі сітки, гомогенізація моделює матеріал через періодичні мікроструктури, а метод рівня-сетів описує межу між матеріалом і порожнечою за допомогою математичної функції рівня. Аналіз результатів оптимізації консольної балки зі сталі (висока жорсткість) показав, що всі три методи генерують схожі за загальною конфігурацією конструкції, які ефективно сприймають згинальні моменти, концентруючи матеріал вздовж верхньої та нижньої граней. Метод

SIMP забезпечив чіткий розподіл матеріалу з мінімальною кількістю перехідних зон. Гомогенізаційний метод дозволив отримати більш деталізовану структуру з оптимальною орієнтацією мікроструктур, що потенційно дає додаткову економію маси. Метод рівня-сетів сформував конструкцію з найбільш гладкими контурами, що може бути перевагою для зниження концентрації напружень та технологічності виготовлення. Для високожорстких матеріалів вибір методу може визначатися радше обчислювальними ресурсами та вимогами до якості поверхні, ніж суттєвою різницею в ефективності. При переході до алюмінієвої балки (середня жорсткість) відмінності між результатами стали більш вираженими. Усі методи згенерували більш розгалужені структури порівняно зі сталевією балкою, що є компенсацією нижчої жорсткості матеріалу. Метод SIMP показав наявність більшої кількості діагональних елементів та проміжних щільностей.

Таблиця 1 – Порівняння методів топологічної оптимізації

Метод оптимізації	Концепція	Сталь (висока жорсткість)	Алюміній (середня)	Композит (низька)	Коментар
SIMP	Щільність матеріалу	Чіткий розподіл	Діагональні зони	Складна інтерпретація	Простий, швидкий
Гомогенізаційний	Мікроструктури	Деталізація	Баланс ваги/жорсткості	Пористі структури	Висока точність, обчислювально затратний
Рівня-сетів	Межа матеріал/порожнеча	Гладкі контури	Гнучка геометрія	Архітектура з елементами	Ідеальний для 3D-друку

Гомогенізаційний метод та метод рівня-сетів продемонстрували здатність створювати більш складні топології з градієнтними переходами щільності або численними внутрішніми порожнинами, що дозволило ефективніше розподілити матеріал і досягти кращого балансу між вагою та жорсткістю порівняно з SIMP, хоча й ціною більших обчислювальних витрат. Найбільш суттєві відмінності спостерігалися при оптимізації балки з композитного матеріалу (низька жорсткість). Метод SIMP сформував надмірно розгалужену структуру з майже рівномірним розподілом по об'єму

зі значною кількістю елементів проміжної щільності, що ускладнює інтерпретацію та реалізацію. Натомість, гомогенізаційний метод та метод рівня-сетів показали свою перевагу, створивши складні пористі або ґратчасті структури зі складною внутрішньою архітектурою. Оптимальна орієнтація мікроструктур у методі гомогенізації та формування численних внутрішніх елементів і гладких контурів у методі рівня-сетів дозволили максимально компенсувати низьку жорсткість матеріалу, забезпечуючи необхідну стійкість при мінімальній масі. Для матеріалів з низькою жорсткістю застосування гомогенізаційного методу або методу рівня-сетів є найбільш доцільним для досягнення найкращих результатів.

Таким чином, проведений аналіз демонструє, що вибір методу топологічної оптимізації повинен ґрунтуватися не лише на доступних обчислювальних ресурсах чи бажаній точності, але й значною мірою на характеристиках жорсткості матеріалу деталі. Для високожорстких матеріалів простіші методи, як SIMP, можуть бути достатньо ефективними. Однак, зі зменшенням жорсткості матеріалу, переваги більш складних методів, таких як гомогенізаційний та рівня-сетів, стають дедалі очевиднішими, оскільки вони дозволяють генерувати більш адаптовані та ефективні топології для компенсації властивостей матеріалу. Розуміння цих взаємозв'язків дозволяє інженерам робити обґрунтований вибір інструменту оптимізації для досягнення найкращих конструктивних рішень у машинобудуванні.

Список використаних джерел

1. Bendsøe, M.P., Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71(2), 197–224.
2. Sigmund, O., Maute, K. (2013). Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48, 1031–1055.
3. Wu, J., Sigmund, O., Groen, J.P. (2021). Topology optimization of multi-scale structures: A review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 63, 1455–1480.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КРИТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СТІЛИ ТРЕЛЮВАЛЬНОГО УСТАТКОВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З ДИСИПАТИВНИМИ ВТРАТАМИ

Радяк І.В., аспір.

Бакай Б.Я., к.т.н., доц.

Національний лісотехнічний університет України

Сучасні машини для заготівлі деревини передбачають використання гідравлічних маніпуляторів, за допомогою яких передбачено виконання основних операцій на трелюванні лісоматеріалів. Таке трелювальне устаткування забезпечує високі показники ефективності на завантажувально-розвантажувальних операціях, переміщенні та штабелюванні круглих лісоматеріалів. Основним недоліком такого устаткування є його невеликий радіус дії. Для вирішення цієї проблеми запропоновано встановлювати лебідки на гідравлічні маніпулятори, що у свою чергу значно розширює експлуатаційні можливості трелювальних машин.

Робота запропонованого трелювального устаткування у цих умовах призводить до виникнення значних, часто непередбачуваних, динамічних навантажень на елементи конструкції, особливо на стрілу маніпулятора, яка є основним несучим елементом під час підтрелювання лебідкою. Перевищення допустимих навантажень може спричинити деформацію або навіть раптовий вихід стріли з ладу, що пов'язано з ризиками для безпеки персоналу та значними економічними втратами. У зв'язку з цим виникає гостра необхідність у ідентифікації критичних режимів роботи трелювального устаткування, тобто тих режимів, під час яких виникають максимальні динамічні навантаження на стрілу. Встановлення таких критичних режимів дозволить обґрунтовано формулювати технічні вимоги до міцності, надійності та жорсткості конструкції стріли на етапі проектування, а також розробити рекомендації щодо безпечних та ефективних експлуатаційних режимів роботи устаткування. Вирішення цієї актуальної задачі дозволить розробити заходи для підвищення її експлуатаційної довговічності трелювального устаткування та з'ясувати оптимальні режими роботи.

Метою даної роботи є розроблення та застосування методики ідентифікації критичних режимів роботи стріли трелювального устаткування

на основі математичного моделювання динамічних процесів з урахуванням дисипативних втрат енергії, які виникають під час підтрелювання деревини. Для досягнення поставленої мети розроблено динамічну модель системи “стріла маніпулятора – лебідка – канат – колода”. У цій моделі стрілу представлено як пружно-дисипативний елемент зі зведеними параметрами маси, жорсткості та демпфування, приведеними до точки кріплення обвідного блока канату лебідки. Пружно-дисипативні властивості тягового канату також враховано у запропонованій моделі.

На основі розробленої динамічної моделі з використанням рівнянь Лагранжа другого роду побудовано математичну модель у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь. Ця модель враховує реальну механічну характеристику гідроприводу лебідки, сили опору переміщенню колоди деревини, а також дисипативні втрати в стрілі та канаті. Розв'язання системи рівнянь здійснювалося чисельними методами для аналізу перехідного процесу роботи лебідки при підтягуванні колоди.

Результати математичного моделювання показали, що під час перехідного процесу в конструкції стріли виникають інтенсивні високочастотні коливальні процеси та значні динамічні навантаження. Зокрема, виявлено, що максимальне динамічне зусилля у стрілі, може майже втричі перевищувати усталене значення, яке спостерігається після затухання коливань. Також зафіксовано значні амплітуди коливань швидкості деформації стріли. Саме цей режим різкого старту характеризується швидкою зміною рушійного моменту приводу та, як наслідок, виникненням пікових навантажень і коливань, ідентифіковано як критичний для стріли трелювального устаткування.

Таким чином, запропонований підхід, що базується на математичному моделюванні з урахуванням дисипативних втрат, дозволяє ефективно ідентифікувати критичні режими роботи стріли трелювального устаткування, пов'язані з перехідними процесами. Розуміння динаміки системи в цих режимах є основою для розроблення рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів устаткування та оптимізації алгоритмів керування приводом лебідки з метою зменшення динамічних навантажень, мінімізації коливань і підвищення загальної ефективності та ресурсу трелювального устаткування.

Список використаних джерел

1. Адамовський, М. Г., Бакай, Б. Я. (2004). Аналіз і перспективи використання трелювальних тракторів у лісовому комплексі України [Analysis and prospect of the use of skidding tractors in the forest complex of Ukraine].

Науковий вісник УкрДЛТУ : Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля, 14(3), 175-182. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8052882>.

2. Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O., Loveikin, A. V., Liashko, A. P., Pochka, K. I. (2024). Dynamic analysis of the simultaneous starting of the boom and load lifting mechanisms hoisting for the jib and the cargo of the jib crane with a hydraulic drive. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 113, 149-160, <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.149-160>.

УДК 658.51:631.3

СУЧАСНІ МЕТОДИ РІЗУ МЕТАЛУ

Шаленко В.О., к.т.н., доц.

Корнійчук Б.В., к.т.н., доц.

Маслюк А.А., асист.

Краснощок І.Р., студ.

Київський національний університет будівництва і архітектури

На сьогоднішній день існують декілька різновидів технологій різання металу: електроерозійна різка, лазерна різка та плазмове різання.

Лазерна різка металу основана на технології сфокусованого потужного лазерного проміння, який забезпечує високу концентрацію енергії у точці різі. У процесі різання, під впливом лазерного проміння матеріал в зоні розрізу плавиться, займається, випаровується або видувається струменем газу. При цьому можна отримати вузькі розрізи з мінімальною зоною термічного впливу. Усім процесом керує комп'ютерна програма, що дозволяє досягти точності різі металу 0,05 мм. При цьому товщина металу може сягати 20 мм. Швидкість різання залежить від товщини і властивостей металу і може бути від 0,5 до 10 м/хв.

Плазмове різання металу – це вид плазмової обробки металів, при якому різальний інструмент це струмінь плазми. Плазмове різання може виконуватися ручним різакон так і на координатних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Принцип дії апаратів плазмового різання полягає в проплавленні матеріалу за рахунок теплоти, що генерується стислою плазмовою дугою з подальшим інтенсивним видаленням розплаву плазмовим струменем. При використанні плазмових верстатів ЧПК можна досягти товщини різі плазми 0,5...2 мм. Максимальна товщина металу може сягати

200 мм (економічно доцільно різати: 50 мм – для сталі, 90 мм – для чавуна, 100...120мм – для кольорових металів) при цьому у залежності від товщини металу швидкість різу може сягати 250...10000 мм/хв.

Електроерозійна різка металу засновано на використанні контрольованого руйнування електропровідного матеріалу під дією електричних розрядів між двома електродами. Одним з електродів є метал який ріжиться. У ролі другого електрода виступає сам ріжучий орган. Як правило, ріжучим органом є металевий електропровідний дріт діаметр якого може коливатися від 0,1 до 2 і більше міліметрів. Точність різу поверхні металу може сягати до 0,005 мм при параметрі шорсткості обробленої поверхні 0,01 мкм. Товщина металу який ріжиться може досягати 400 мм. Швидкість різу до 10 м/хв. Увесь процес різу автоматизований на відповідних станках з програмно числовим керуванням.

Серед розглянутих методів різання металів найцікавішим є електроерозійна різка металу. На сьогодні швидкість різу таким методом нічим не гірша від інших розглянутих методів. Це стало можливо завдяки сучасним матеріалам з яких виготовляють дріт для електроерозійної різки.

Список використаних джерел

1. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А., Попроцька О.Д. Застосування лазерної технології у обробці металів. // LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: Національний транспортний університет, 2021. – С. 34. – Режим доступу: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>.

2. Шаленко В.О., Маслюк А.А., Стукало К.Є. Зварювання труб електродуговим методом. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної онлайн конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіП України, 2021. – С. 189, 190. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/zbyrnik_tez.pdf.

3. Яцюк Є.П., Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А. Матеріали для лазерного 3D-друку металів. // Збірник тез доповідей 77-ї всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (18–19 квітня 2024 року). – Київ: НУБіП України,

УДК 681.6

ВИРОБНИЦТВО ПЛАСТИКУ ДЛЯ 3D-ДРУКУ

Шаленко В.О., к.т.н., доц.

Маслюк А.А., асист.

Краснощок І.Р., студ.

Київський національний університет будівництва і архітектури

На сьогодні існує велика кількість різноманітного пластику, який використовується для 3D-друку. Такі пластики можуть мати різні фізико-механічні властивості. Бути міцним, гнучким, різного роду композитним, легко розчинним у воді, мати фосфоресцентну основу та інше. Це залежить від вимоги до надрукованої майбутньому деталі. У процесі 3D-друку принтеру потрібен пруток пластику діаметру 1,75 мм. Також для якісного та вдалого друку увесь пруток повинен бути стабільно одного діаметру.

Виготовляють пластик для 3D-принтера на відповідних промислових екструдерних лініях виробництва. На яких сировиною використовується чиста гранула відповідного виду пластику. Таку гранулу засипають у бункер установки де шнек переміщує її до сопла екструдера. В процесі переміщення гранула плавиться та формується на виході у пруток. Після екструдера пруток проходить систему охолодження та намотчиком намотується на котушку. Намотані котушки обов'язково просушують у відповідних сушильних шафах після цього отриманий пластик можна використовувати у 3D-принтері.

Також пластик для друку в 3D-принтері можна виготовити і у домашніх умовах з вторинної сировини. Такою сировиною може бути звичайна пляшка з під питної води. Для цього пляшку потрібно відповідним ножом розпустити на полосу потрібної ширини (рис. 1а). Отриману полосу можна для зручності змотати на підготовлену котушку. З котушки полоса проходить через розігріте сопло відповідного діаметру та намотується на барабан редуктора протяжки. За рахунок високої температури сопла (рис. 1б) полоса закручується у пруток необхідного діаметра. Усім процесом такої протяжки керує автоматика, що дозволяє досягти рівномірного діаметру прутка. Готовий отриманий пруток можна використовувати для друку в 3D-принтері. Якщо використовувати

пляшки різного кольору можна надрукувати виріб забарвлений в різні кольори.



Рисунок 1 – Перетворення PET полоси у пруток пластику

Список використаних джерел

1. Шаленко В.О., Маслюк А.А. Використання вторинного пластику для 3D друку. // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 23-24 лютого 2023 р. – Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2023. – С. 493-495. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1RroWpQAqCfFEFjiewbSxTdPMUEy6YTWo/view>.
2. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А., Попроцька О.Д. Новий матеріал для 3D друку основі PLA- та ABSпластику. // LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: Національний транспортний університет, 2021. – С. 34, 35. – Режим доступу: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>.
3. Шаленко В.О., Маслюк А.А., Якименко С.Л. Складний 3D друк моделей з пластику. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної онлайн конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіП України, 2021. – С. 65.– Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/zbyrnik_tez.pdf.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ І ВИПРОБУВАННЯХ

*Шаленко В.О., к.т.н., доц.
Мостовенко О.В. д.т.н., проф.
Руднєв К.М., студ.*

Київський національний університет будівництва і архітектури

Тензометричний метод являється одним із найбільш розповсюджених при дослідженнях і випробуваннях напружено-деформованого стану елементів машин, будівельних конструкцій, ґрунтів та різних будівельних сумішей в процесі їх навантаження. У відповідності до назви методу у якості датчиків-перетворювачів деформацій на зміну електричних імпульсів в інформаційно-вимірювальних ланцюгах (ІВЛ) використовуються тензометричні датчики (тензорезистори). Перевагою тензодатчиків є велика чутливість до мінімальних переміщень та незначні розміри, що дозволяє розміщувати їх безпосередньо на деталях або на віддалених елементах конструкцій, або в робочих середовищах.

Принцип дії тензорезисторів побудований на тензометричному ефекті – залежності електричного опору тензорезистору від ступеню його деформації.

Тензорезистори характеризуються: вимірювальною базою l – довжина чутливого елемента решітки тензодатчика в мм; номінальним опором R – значення активного опору чутливого елемента (ґратки) тензодатчика в Ом; робочим струмом живлення I_p – допустимий струм в мА, при якому не відбувається помітного нагрівання тензорезистора; межею вимірюваних деформацій $\varepsilon_{\max}$ – найбільше значення відносної деформації в мкм/м (або у відсотках), щодо якої завод-виробник гарантує надійну роботу тензорезисторів.

Основною характеристикою тензометричного ефекту являється коефіцієнт тензочутливості. Він визначається відношенням відносної зміни опору – R до відносної зміни довжини провідника – L .

Дротяний тензодатчик являє собою плоску петлеподібну дротяну обмотку прямокутної форми (ґратку), до кінців якої припаяні (або приварені) відносно товсті відводи з мідного дроту.

Фольгові тензодатчики виготовляються методом фотолітографії з дуже тонкої (близько 0,0036 мм) фольги.

Для проведення вимірювань деформацій тензорезистор наклеюють до поверхні зразка, деталі або конструкції. Гратку тензорезисторів виготовляють з дрітчастих або фольгових матеріалів, що мають великий питомий опір (константан, ніхром та інші).

Вимірювання деформації за допомогою тензоелементів – одне з найскладніших в техніці електричних вимірювань. Складність визначається малим діапазоном зміни опору тензорезистора під впливом деформації.

Список використаних джерел

1. Гарнець В.М., Шаленко В.О., Михайлюк В.В., Маслюк А.А. Методологія створення машин. Практичні роботи та завдання до курсової роботи. – К.: КНУБА, 2018. – 100 с. – ISBN 978-966-627-200-6
2. Шаленко В.О., Гарнець В.М., Пристайло М.О. Експериментальні дослідження процесу вібраційного формування бетонних сумішей. Всеукраїнський збірник наукових праць «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини». – К.: КНУБА, 2016. – Вип. 87. – С. 63-68. – Режим доступу: http://gbdmm.at.ua/publ/vipusk_87/2.
3. Shalenko V. Experimental research process of vibrating formation of concrete mixes. / Working program and proceedings International scientific-practical conference of young scientists “BUILD-MASTER-CLASS-2016”. – Kyiv, KNUCA, 2016. – P. 186.

ЗМІСТ

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У ЕЛЕКТРОДВИГУНІ НА ТРЬОХ ЕТАПАХ РУХУ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ВІЗОК-ВАНТАЖ» БАШТОВОГО КРАНА.....	3
ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОДНОЧАСНОГО РУХУ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ КОЗЛОВОГО КРАНА ТА ВІЗКА І ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ.....	5
МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СИНХРОННОМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ТА ПОВОРOTУ СТІЛИ КРАНА.....	6
ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ СУМІСНОМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ ТА СТІЛИ СТІЛОВОГО КРАНА.....	10
АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ МАНІПУЛЯТОРА З ДВОМА ПОСТУПАЛЬНИМИ ТА ОДНІЄЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ ЛАНКАМИ.....	13
ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ З КОМП'ЮТЕРНИМ ЗОРОМ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	16
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В НАЗЕМНИХ ДРОНАХ ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ МУРАШНИКІВ.....	19
ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ ДУБЛЮЮЧОГО ДРУКУ.....	21
КОНСТРУКЦІЯ ДРУКУЮЧОЇ ГОЛІВКИ ДЛЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО 3D ДРУКУ.....	23
ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТРАЄКТОРІЙ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ РОБОТИЗОВАНИМ БАШТОВИМ КРАНОМ.....	25
ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОСЛУГ З ВІДДАЛЕНОГО СЕРВІСУ ТА МОБІЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРОВИРОБНИКІВ.....	26
ПРЕДИКТИВНЕ ТА ПРЕВЕНТИВНЕ ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗМІШУВАЧІВ-КОРМОРОЗДАВАЧІВ.....	29
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ВИРОБНИЦТВО ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	33
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ.....	34
ОБІРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ПОСІВНИХ МАШИН ТОЧНОГО ПОСІВУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР.....	36

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ РИГЕЛЯ З ПОШКОДЖЕННЯМИ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ.....	39
ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ЗБІРНОГО БАГАТОПРОЛЬОТНОГО ЗІЛЗОБЕТОННОГО КАРКАСУ БУДІВЛІ.....	43
ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗОНИ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ.....	46
РОЗВИТОК БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	51
ВИКОРИСТАННЯ ДОМІШОК ДО БЕТОНУ В БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ.....	54
FLOORS OF INDUSTRIAL BUILDINGS.....	58
ОСОБЛИВОСТІ БЕЗБАЛОЧНОГО ПЕРЕКРИТТЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	61
VDC ТА МОДЕЛЮВАННЯ.....	63
СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	67
ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING 3D SCANNING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS).....	69
ВІБРОДИНАМІЧНІ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОСІВ У М. ОДЕСА ПІСЛЯ ВИБУХОВИХ ВПЛИВІВ.....	71
ВИЗНАЧЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ВПЛИВІВ НА ПЕРЕКРИТТЯ ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ПІД ЧАС МАСОВИХ ЗАХОДІВ.....	74
КОНСТРУЮВАННЯ ЛІНІЙЧАТОЇ ПОВЕРХНІ МНОЖИНОЮ ПОЛОЖЕНЬ ОДНОГО ІЗ ОРТІВ ТРИГРАННИКА ДАРБУ.....	76
ВИКОРИСТАННЯ СЕРВІСІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ З ПРИКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРІЇ.....	78
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ І РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЛАНЦЮГОВОГО ТРАНСПОРТЕРА.....	79
ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ КЕРАМІЧНИХ ОБОЛОНКОВИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	80
ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	81
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІЦНЕННЯ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	82
ВПЛИВ БОРУ НА ПРОГАРТОВАНІСТЬ СТАЛЕЙ.....	83

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	85
ОТРИМАННЯ КОЛОЇДНОЇ ФОРМИ ЗАЛІЗА ТА ЦИНКУ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ РІДКИХ ВУГЛЕВОДІВ.....	89
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРИВОДУ СТІЛИ ДВОЛАНКОВОГО МАНІПУЛЯТОРА.....	91
DEVELOPMENT OF RUNNING EQUIPMENT OF THE CONSTRUCTION TRANSPORT MODULE.....	94
RESEARCH OF THE PARAMETRIC MODEL OF THE MOVING TECHNOLOGICAL MODULE FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION WORKS.....	97
RESEARCH INTO THE COMPOSITION OF THE MECHANIZED SECTION OF THE MECHANICAL ASSEMBLY TEAM.....	99
SIMULATION OF A SPATIAL MOVING KNIFE OF A DUMP WORKING BODY.....	101
CREATION OF PARAMETRIC MODELS OF CONSTRUCTION MACHINERY DRIVE ELEMENTS.....	102
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З РІЗНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЖОРСТКОСТІ.....	104
ІДЕНТИФІКАЦІЯ КРИТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СТІЛИ ТРЕЛЮВАЛЬНОГО УСТАТКОВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З ДИСИПАТИВНИМИ ВТРАТАМИ.....	107
СУЧАСНІ МЕТОДИ РІЗУ МЕТАЛУ.....	109
ВИРОБНИЦТВО ПЛАСТИКУ ДЛЯ 3D-ДРУКУ.....	111
ВИКОРИСТАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ І ВИПРОБУВАННЯХ.....	113

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XXIV ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-
ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, НАУКОВИХ
СПІВРОБІТНИКІВ ТА АСПІРАНТІВ
«ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ТА
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ:
КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙН»

(10-11 квітня 2025 року)

Відповідальний за випуск:

Ю.О. Ромасевич – професор кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України.

Верстка – кафедра конструювання машин і обладнання НУБіП України.

Адреса редколегії – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12^В, НУБіП України.

Матеріали тез друкуються у авторській редакції.

Тираж виготовлено з оригінал-макету замовника.

Підписано до друку 18.03.2025. Формат 60х84 1/16.

Ум. друк. арк. 7,375.