



Міністерство освіти і науки України  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
Факультет конструювання та дизайну



Академія інженерних наук України  
Національна академія наук вищої освіти України

Академія  
Інженерних  
Наук України

Академія будівництва України

Українська асоціація аграрних інженерів



ГО "НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ"  
LABORE ET SCIENTIA



*ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
І ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«Постери здобувачів вищої освіти магістратури  
спеціальностей G 11 & G 19»*

*6-7 листопада 2025 року*

*<https://doi.org/10.64165/proceeding-g11g19.2025>*



Київ – 2026

**ББК40.7**

**УДК 631.17+62-52-631.3**

<https://doi.org/10.64165/proceeding-G11G19.2025>

Збірник тез доповідей I Всеукраїнської наукової конференції «Постери здобувачів вищої освіти магістратури спеціальностей G 11 & G 19». 06-07 листопада 2025 року. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2025. 104 с.

Рекомендовано до друку вченою радою факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол від 04 листопада 2025 року № 4.

В збірнику представлені тези доповідей в рамках апробації матеріалів магістерських кваліфікаційних робіт здобувачами вищої освіти освітньо-професійних і освітньо-наукових програм з спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», G 11 «Машинобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» і G 19 «Будівництво та цивільна інженерія», в яких розглядаються нинішній стан та шляхи розвитку цих газузей економіки України.

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

*Роговський І. Л.* – голова, д.т.н., проф., НУБіП України.

*Henryk Sobczuk* – д.т.н., проф., Польща.

*Saveliy Kuharets* – д.т.н., проф., університет Вітовда Великого, Литва.

*Arvo Leola* – д.т.н., проф., Естонський університет природничих наук.

*Matuka Benashvili* – д.т.н., проф., сільськогосподарський університет Грузії.

*Vladimir Gorobet* – д.т.н., проф., державний аграрний університет Молдови.

*Алфьоров О. І.* – д.т.н., проф., НААН.

*Аулін В. В.* – д.т.н., проф., ЦНТУ.

*Бакулін Є. А.* – к.т.н., доц., НУБіП України.

*Борак К. В.* – д.т.н., проф., ЖАТКФ.

*Козаченко О. В.* – д.т.н., проф., ДБУ.

*Войтюк В. Д.* – д.т.н., проф., Українська асоціація аграрних інженерів.

*Дідур В. В.* – д.т.н., проф., УНУ.

*Захарчук О. В.* – д.е.н., проф., член-кореспондент НААН, ННЦ «ІАЕ».

*Ищенко Т. Д.* – к.п.н., проф., ДУ «НМЦ «Агроосвіта».

*Коробко М. М.* – к.т.н., доц., НУБіП України.

*Кравчук В. І.* – д.т.н., проф., академік НААН, НААН.

*Ловейкін В. С.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*Мар'єнков М. Г.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*Мартинов В. М.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*Новицький А. В.* – к.т.н., доц., НУБіП України.

*Отченашко В. В.* – д.с.г.н., проф., член-кореспондент НААН, НУБіП України.

*Поліщук В. П.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*Ромасевич Ю.О.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*Назаренко І. І.* – д.т.н., проф., Академія будівництва України.

*Струтинський В. Б.* – д.т.н., проф., НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

*Яковенко І.А.* – д.т.н., проф., НУБіП України.

*ТЕМАТИЧНА СЕКЦІЯ*  
*133 «Галузеве машинобудування»*  
*G 11 «Машинобудування»*  
*G 11.03 «Машинобудування. Технологічні машини та обладнання»*

УДК 621.873

**ТИПОВІ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОРОБКИ ПЕРЕМІНИ  
ПЕРЕДАЧ**

**М. М. ВАКУЛЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Юлій РЕВЕНКО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У процесі використання сільськогосподарської техніки відбувається поступова або раптова втрата її працездатності. Відмови зумовлюються комплексом чинників, серед яких конструктивні особливості, відхилення в технології виготовлення, природне зношування деталей, а також умови та правильність керування машиною. Через експлуатацію в різноманітних виробничих умовах технічний стан навіть однотипних машин може істотно відрізнятись. Тривалість безвідмовної роботи має випадковий характер, оскільки ресурс окремих вузлів і агрегатів не є однаковим та змінюється в широких межах.

Функціональна придатність коробки передач визначається технічним станом зубчастих коліс, підшипників, валів, вилок перемикачів передач, а також корпусних деталей. Зношування робочих поверхонь вилок призводить до неповного вмикання передач, унаслідок чого на зуби шестерень діє підвищене питоме навантаження. Це спричиняє прискорене спрацювання, викришування та навіть руйнування зубців.

У міру зношування зубчастих коліс, шліцьових з'єднань і підшипників зростає боковий зазор між зубами. Надмірний зазор викликає ударні навантаження, що пов'язані з нерівномірним спрацюванням деталей і значними коливаннями тягового зусилля. За порушення правил експлуатації та технічного обслуговування інтенсивний знос шестерень і підшипників відбувається під впливом абразивних частинок, які потрапляють у корпус трансмісії через пошкоджені сальникові ущільнення, що призводить до їх передчасного руйнування.

Ускладнене перемикачів передач може бути наслідком деформації вилок і важеля перемикачів, неповного вмикання зчеплення, заїдання сферичних шарнірів, утрудненого переміщення штоків вилок через забруднення гнізд, появи задириків або заклинювання блокувальних елементів. Також причиною може бути утруднений рух муфт ковзання на маточинах унаслідок забруднення

шліцьових з'єднань. Однією з поширених причин важкого вмикання передач є порушення регулювання приводу керування механізмом перемикачів, при цьому першочергово необхідно перевіряти справність і регулювання зчеплення.

Поява шуму в коробці передач може бути зумовлена осьовим люфтом валів, зношуванням підшипників, шестерень і синхронізаторів, недостатнім рівнем масла або його забрудненням. Мимовільне вимикання передач та їх нечітке вмикання виникає через зношення кульок і гнізд штоків, зниження пружності фіксуючих пружин, спрацювання зубців муфт і блокувальних кілець синхронізаторів. Якщо під навантаженням самовільно вимикаються передачі переднього ходу, насамперед слід перевірити надійність кріплення коробки передач до картера зчеплення та, за потреби, підтягнути кріплення. У разі збереження несправності причину необхідно шукати в механізмі перемикачів, зношуванні фіксаторів, повзунів і стані зубців шестерень.

Витік трансмісійного масла може бути спричинений спрацюванням сальників валів, послабленням кріплення кришок картера, ненадійним з'єднанням картера зчеплення з картером коробки передач або пошкодженням ущільнювальних прокладок.

Систематичний контроль технічного стану вузлів у межах комплексу заходів технічного обслуговування дає змогу зменшити інтенсивність зношування деталей, підтримувати необхідний рівень надійності, скоротити тривалість простоїв машин у ремонті та забезпечити оптимальні режими їх роботи.

УДК 621.873

## **ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХВАТНОГО ПРИБОРУ ВАНТАЖОПІДЙМАНЬНИХ МАШИН**

**А. О. КОЖЕМ'ЯКІН**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Микола КОРОБКО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В сучасному сільськогосподарському виробництві вантажопідійомні машини призначені для виконання навантажувально-розвантажувальних і транспортних операцій в польових умовах, ремонтних майстернях та тваринницьких фермах, складах, будівельних майданчиках та інших об'єктах.

Більше 90% вантажопідійомного обладнання відслужило свій нормативний термін, деякий навіть кілька разів. Кількість введення в експлуатацію нової техніки не забезпечує компенсацію природного старіння механізмів які ще працюють. Крім того розробку конструкцій і виготовлення вантажопідійомних пристроїв в ряді випадків потрібно виконувати безпосередньо у господарствах, враховуючи реальні їх умови та запити.

Актуальність розробки захватних пристроїв зумовлена зростанням вимог до підвищення продуктивності вантажопідіймальних машин, надійності безпечного і зручного їх використання.

До конструкцій вантажозахватних пристроїв пред'являються дві основні вимоги:

- можливість простого і зручного стропування;
- надійність зачеплення або захоплення, що виключають можливість обриву вантажу.

Вантажозахватні пристрої, призначені для підйому тонкостінних конструкцій, чутливих до деформацій, повинні сприймати на себе монтажні навантаження і забезпечувати незмінність конструкції.

Розрізняють такі принципи роботи вантажозахватних пристроїв: зачеплення конструкції із застосуванням строп і траверс, захват за допомогою кліщових і профільних пристроїв, затиск із використанням фрикційних і вакуумних захватів. Вантажозахватні пристрої випробовують шляхом їх пробного навантаження відповідно до вимог Держгіртехнагляду.

Захвати призначені для безпечного підйому конструкцій. За характером утримання конструкції розрізняють захвати:

- механічні, в яких конструкція утримується на вазі за рахунок підхоплення за виступаючі частини, затискача або фрикційного зачеплення;
- електромагнітні, що використовуються для підйому металевих листових конструкцій;
- вакуумні, в яких конструкція утримується на вазі за рахунок вакууму.

В цій роботі представлено розроблену конструкцію механічного гакового захвату (рис. 1) конструкція якого сприяє полегшенню і прискоренню процесу автоматичного стропування вантажів.

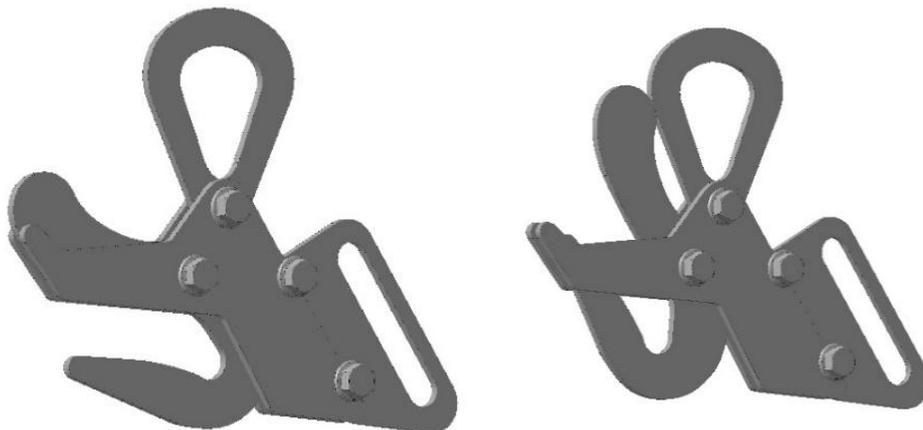


Рис. 1. Автоматичний механічний захват

Пристрій має просту розбірну компоновку і складається лише з чотирьох деталей та працює з стандартизованою гаковою підвіскою. Без навантаження захватний гак, який шарнірно кріпиться до конструкції, під дією сили тяжіння завжди прагне до відкритого положення. Під час підйому зусилля від ваги вантажу автоматично повертає гак у закрите положення надійно фіксуючи вантаж.

УДК 621.8

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОМ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ

**К. П. САВЧУК<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Робототехнічні системи і комплекси  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: Ph.D, Олександр СПОДОБА<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

<sup>1</sup>E- mail: rsk24-k.savchuk@nubip.edu.ua <sup>2</sup>E- mail: o.spodoba@nubip.edu.ua

Гідравлічні роботи широко використовуються у важкій промисловості, будівництві та військово-промисловому комплексі завдяки їхній високій вантажопідйомності, потужності та жорсткості конструкції. Однак, порівняно з електричними приводами, гідросистеми мають низку недоліків: складну нелінійну динаміку, чутливість до змін температури та в'язкості робочої рідини, а також низьку точність позиціонування та значні енерговитрати. Існуючі системи керування часто не можуть ефективно компенсувати ці нелінійності, що обмежує потенціал швидкодії та точності гідравлічних роботів. Таким чином, розробка та впровадження удосконалених, алгоритмів керування є актуальною науково-технічною задачею.

Мета роботи полягає у розробці та теоретичному обґрунтуванні удосконаленої системи керування роботом з гідравлічним приводом, що забезпечує підвищення точності позиціонування, швидкодії та енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Розробити точну нелінійну математичну модель динаміки гідроприводу робота, що враховує інерцію, тертя, внутрішні та зовнішні витоки, а також стисливість робочої рідини.
- Проаналізувати та порівняти ефективність класичних ПД-регулювання та сучасних методів керування наприклад, керування на основі зворотного зв'язку за лінеаризованою динамікою.
- Синтезувати новий алгоритм керування, що поєднує переваги різних методів для забезпечення високої точності відслідковування траєкторії.
- Провести чисельне моделювання роботи системи керування на основі розробленої математичної моделі та оптимізувати параметри регуляторів.
- Дослідити вплив компенсації тертя та стисливості рідини на загальну точність та енергоефективність системи.
- Розробити практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої системи керування на реальних об'єктах.

У роботі будуть використані методи нелінійної динаміки та теорії керування, чисельні методи для розв'язання диференціальних рівнянь, а також методи системного аналізу та моделювання з використанням спеціалізованих програмних пакетів.

Результати дослідження дозволять підвищити продуктивність і якість виконання технологічних операцій гідравлічними роботами (наприклад, у зварюванні, лиття або маніпуляціях з важкими об'єктами), знизити їхнє енергоспоживання та зменшити експлуатаційні витрати за рахунок покращення точності та надійності системи.

УДК 621.8

## **РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНОГО МАНІПУЛЯТОРА**

**Д. Ю. ШАГОВА<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Робототехнічні системи і комплекси  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: Ph.D, Олександр СПОДОБА<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*<sup>1</sup>E- mail: rsk24-d.shahova@nubip.edu.ua, <sup>2</sup>E- mail: o.spodoba@nubip.edu.ua*

Універсальні маніпулятори є ключовим елементом сучасних роботизованих систем, що використовуються в широкому спектрі галузей, включаючи промисловість, медицину, дослідження космосу та військову сферу. Постійно зростаючі вимоги до гнучкості, точності та швидкодії робототехнічних комплексів вимагають розробки нових, оптимізованих конструктивних рішень та глибокого дослідження їхніх робочих характеристик. Існуючі моделі часто мають обмеження щодо вантажопідйомності при високій маневреності або потребують надмірних енерговитрат. Таким чином, актуальною науково-технічною задачею є синтез конструкції маніпулятора, що забезпечує оптимальний баланс між цими параметрами, та дослідження його динамічних характеристик для підвищення ефективності експлуатації.

Мета роботи полягає у розробці та теоретичному обґрунтуванні конструкції універсального маніпулятора з підвищеними експлуатаційними характеристиками та дослідженні його оптимального режиму роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз існуючих конструктивних схем універсальних маніпуляторів та визначити їхні переваги й недоліки.
- Розробити нову конструктивну схему маніпулятора, що відповідає вимогам універсальності та високої динаміки.
- Створити математичну модель кінематики та динаміки розробленої конструкції, враховуючи навантаження, інерційні моменти та тертя в рухомих з'єднаннях.
- Провести чисельне моделювання та оптимізацію параметрів конструкції для досягнення максимальної швидкодії та точності позиціонування.

- Дослідити різні режими роботи маніпулятора та визначити оптимальні алгоритми керування для мінімізації часу виконання задачі та енергоспоживання.

- Розробити рекомендації щодо практичної реалізації та експлуатації універсального маніпулятора в умовах промислового виробництва.

У роботі будуть застосовані методи теоретичної механіки та динаміки машин для моделювання руху, теорії автоматичного керування для розробки алгоритмів, методи скінченних елементів для аналізу міцності та жорсткості конструктивних елементів, а також методи чисельного моделювання для дослідження динамічних характеристик та оптимізації режимів роботи.

Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні та модернізації промислових роботів, а також при розробці спеціалізованих маніпуляційних систем для складних та небезпечних умов.

УДК 631.171

## ОСНОВНІ ПОШКОДЖЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН

**О. В. ЄВДОКИМОВ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Зіновій РУЖИЛО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Переважна більшість мобільної техніки для переміщення використовує колісні конструкції. Пневматична шина одна з найважливіших частин автомобільного колеса. Вона забезпечує якісне щеплення з поверхнею кочення, вбирає незначні поштовхи та удари від нерівностей дороги під час руху. Це забезпечується еластичністю шини й пружністю повітря, яким її заповнено.

Автотракторні шини достатньо вартісні вироби, до того ж вони належать до деталей, що швидко зношуються та лімітують ресурс виробу. За час служби трактора чи самохідної сільськогосподарської машини шини обновлюються як правило три-чотири рази, а в автомобілів цей показник може доходити до восьми-десяти разів. На експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням шин припадає приблизно 10-15 % від загальних витрат на експлуатацію трактора чи автомобіля.

Показник зносу є найважливішою характеристикою, що показує, як довго шина залишиться працездатною. Протектор кожної шини схильний до зносу і дуже важливо не пропустити той момент, коли він досяг критичного рівня і шина вже не може забезпечити належну безпеку.

Ремонт автотракторних шин залежності від виду пошкодження. До основних пошкоджень відносяться:

1. Знос протектора шини по висоті.

2. Порізи це велике пошкодження, в результаті якого втрачається герметичність. Порізи є наслідком наїзду на гострий чи великий предмет, бордюр, камінь, тощо.

3. Грижа - здуття, яке виникає в наслідок розриву ниток в каркасі шини чи розшаруванні зовнішнього прошарку від корда.

4. Проколи - невеликі пошкодження, які призводять до втрати герметичності, а в особливих випадках і до втрати корда.

5. Деформація борту.

6. Розрив корду та вихід ниток корду.

Поширені причини пошкодження шин наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні причини пошкодження автотракторних шин

| Причина   | Наслідок  |
|---|---|
| Механічні удари через стан доріг (ями, вибоїни, тощо) | Пошкодження боковин, каркасу і протектора; ризик проколів, порізів; швидкий знос шин.   |
| Невідповідний тиск у шині                             | Низький тиск — перегрів і знос боковин; високий — прискорене стирання центру протектора   |
| Велика сумарна вага автомобіля та вантажу             | Деформацію каркаса, поява «гриж», підвищений ризик розриву шин.   |
| Високі швидкості експлуатації                         | Інтенсивне нагрівання гуми, ризик перегріву; при +40°C і вище гума може «плисти» та деформуватися   |
| Стиль водіння   | Часті розгони і різке гальмування викликають перегрів та швидке стирання протектора   |
| Невірне встановлення                                  | Порушення напрямку або схеми встановлення знижує ефективність зчеплення і прискорює нерівномірний знос  |
| Неправильний вибір розміру шин                        | Неправильна ширина чи профіль порушують пляму контакту, прискорюють знос, погіршують керованість і можуть спричинити тертя об арки або підвіску                 |
| Відсутність балансування                              | Вібрації прискорюють нерівномірний знос і навантажують підвіску й каркас шин, знос стає нерівномірним   |
| Відсутність ротації шин                               | Без періодичної перестановки місцями (передні/задні) шини зношуються нерівномірно   |
| Використання шин не за сезоном                        | Зимові шини влітку - м'яка гума перегрівається й швидко стирається. Літні шини взимку - дубіють, втрачають зчеплення, суттєво зростає ризик тріщин і пошкоджень |
| Невідповідні умови зберігання                         | Під впливом вологи, ультрафіолету й перепадів температур гума старіє, втрачає еластичність і покривається тріщинами   |

Неухильне дотримання правил експлуатації, зберігання і ремонту автотракторних шин збільшує термін їх використання на 10-12%, запобігає простою техніки та знижує експлуатаційні витрати.

#### **Список використаних джерел**

1. Алексеев Ю.Г., Кувалдин Н.А. Металокорд для автомобильных шин. К. Металургія. 2008. 192 с.
2. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання / А. В. Новицький [та ін.]. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. 209 с
3. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей / З. В. Ружи́ло, Мельник В.І., Новицький А.В., [та ін.]. К. : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310 с.
4. К.П.Бакфіш, Д.С.Хайнц. Нова книга про шини. К. АСТ. Астрель. 2009. 306 с.
5. Аналіз обладнання для проведення шино монтажних робіт / З.В. Ружи́ло, А.Ю. Рябоштан, Н.А. Гладун // Збірник тез доповідей VI Міжнародної наукової конференції «Екобіотехнології та біопалива в АПК – Energia 2012» (27 вересня – 03 жовтня 2012 року) / ННІ рослинництва, екології і біотехнологій та Технічний ННІ Національного університету біоресурсів і природокористування України. К. 2012. С. 56-86.
6. Основні методи ремонту автотракторних шин /А.В.Новицький, А.З Ружи́ло // збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Володимира Савовича КРАМАРОВА (1906-1987) «КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ». К. 2025. С107-110.

УДК 631.171

## **ОСНОВНІ ВИБРАКОВОЧНІ ДЕФЕКТИ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

**Р. В. РОМАНЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: к.т.н., доцент Зіновій РУЖИЛО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Колінчастий вал є одним із ключових елементів двигуна внутрішнього згоряння. Його основне завдання полягає в перетворенні зворотно-поступального руху поршнів на обертовий рух, який у подальшому передається на трансмісію та колеса. Цей процес дозволяє автомобілю чи трактору рухатися, а також забезпечує функціонування додаткових систем, таких як генератор, насос охолодження чи масляний насос.

У сучасному машинобудуванні точність виготовлення колінчастого вала має критичне значення, оскільки він піддається значним навантаженням під час

роботи двигуна. Його несправність може призвести до серйозних поломок або навіть повної зупинки двигуна.

Колінчастий вал виготовляють гарячим штампуванням зі сталі 60ХФА. Шатунні шийки розташовують так, щоб відповідні такти роботи (наприклад, розширення) в різних циліндрах двигуна відбувались в певні моменти часу, визначені кутом повороту колінчастого валу, а сили інерції, що виникають в циліндрах, врівноважувались.

Для покращення зносостійкості та довговічності шатунних і корінних шийок, їх гартують струмами високої частоти, після чого шліфують і полірують. Плавний перехід від шийок до щік називається галтеллю і запобігає концентрації напружень і можливим пошкодженням колінчастого валу.

Корінними підшипниками, як правило, є двошарові вкладиші, які цілком забезпечують виконання функцій підшипників в двигунах із високою кутовою швидкістю обертання колінчастого валу і значними навантаженнями.

Вздовж осі колінчастого валу діють сили від косозубих шестерень приводу розподільчого валу та інших агрегатів та зчеплення. Тому один з корінних підшипників виконують упорним, щоб запобігти осьовим зміщенням колінчастого валу.

Завдяки своїй конструкції, колінчастий вал також відповідає за збалансування роботи двигуна. Спеціальні противаги допомагають зменшити вібрації, що виникають під час обертання, і сприяють більш плавній роботі силового агрегату. Правильне балансування колінвала має суттєвий вплив на тривалість експлуатації двигуна та рівень шуму.

Сили від шатунів, з'єднаних з поршнями, передаються на колінчастий вал, який сприймає великі навантаження і підлягає скручуванню, згину і абразивному зношенню. Крутний момент, створюваний на колінчастому валу, передається в трансмісію автомобіля, а також застосовується для приводу різноманітних навісних агрегатів і механізмів двигуна.

Надійність і довговічність машин багато в чому обумовлені явищами тертя і зношування, що відбуваються в їхніх вузлах. Зношування призводить до порушення герметичності вузлів, втрачається точність взаємного розміщення деталей і переміщень. Виникають заклинювання, удари, вібрації, які призводять до поломок. Тертя призводить до втрат енергії, перегріву механізмів, зниження передатних зусиль, підвищених витрат пального та інших матеріалів. Явища тертя і зношування взаємно обумовлені: тертя призводить до зношування, а зношування поверхонь деталей у ході роботи призводить до зміни тертя.

Найчастіша проблема з колінчастими валами – природний знос внаслідок тертя. Найшвидше в колінвалі зношуються шатунні шийки – вони втрачають округлу форму та стають еліпсоподібними.

Друга проблема набагато серйозніша – задири. Зазвичай вона виникає, коли є проблеми з подачею оливи. Частина підшипника ковзання прилипає до шийки колінвала та пошкоджує її. Такі несправності не завжди можна виправити шліфівкою – іноді застосовують метод наварки, але частіше доводиться міняти колінвал.

При гідроударах (коли в камеру згоряння потрапляє рідина і поршень не

може її стиснути) колінвал може деформуватись або навіть тріснути. Такі несправності колінчастого валу зазвичай не виправляють, а просто міняють його на новий або вживаний але справний.

Також іноді трапляються проблеми, пов'язані з некоректним обслуговуванням або ремонтом. У передній частині, як правило, кріпиться шків, через якій приводяться ремені навісних агрегатів. Якщо центральний болт, що тримає шків, не закрутити з рекомендованим (досить високим) крутним моментом – колінвал може тріснути. У такому випадку колінвал також підлягає заміні. Зовнішнім оглядом деталі виявляють значні дефекти:

- зношення за зминання оливовідбивача;
- глибокі задири і риски на шийці під сальник;
- значне іржавіння після тривалого впливу вологи;
- значне забруднення, риски і задири на шийках валу;
- засмічення шпонкових канавок, фасок;
- засмічення і пошкодження різьби під храповик.

Також, застосовуючи вимірювальний інструмент, виявляють такі дефекти:

- прогин валу (індикатор);
- товщина фланця (мікрометр);
- діаметри шатунних шийок (мікрометр);
- овальність і конусність корінних і шатунних шийок;
- зношення шийок під шків приводу вентилятора;
- зношення шийок під шестерню приводу газорозподільного валу;
- діаметральне зношення фланця;
- зношення отворів під болти кріплення маховика (пробка);
- зношення шпонкової канавки під шестерню приводу газорозподільного валу (шаблон);
- зношення шпонкової канавки під шків вентилятора (шаблон);
- биття фланця по торцю (індикатор).

Неявні дефекти визначають магнітним дефектоскопом М-217. В двигуні під час старіння і згорання палива утворюються вуглецеві відклади, що поділяються на асфальто-смолисті та лакові утворення і нагар. Асфальто-смолисті відклади це пастоподібні згустки, які відкладаються на щоках колінчастого валу. Технологічні забруднення виникають на деталях, що надходять на збирання. Вони можуть бути забруднені надлишками ливарної землі, окалини, притиркових паст, пилом, стружкою, твердими частинками в оливних отворах, абразивними зернами тощо. Якщо деталі ретельно не очистити, під час припрацювання деталей відбуватиметься інтенсивне зношення. Задири, подряпини, риски, які утворюються в процесі припрацювання, значно впливають на початкове зношення деталей. Своєчасне виявлення та усунення названих дефектів – запорука тривалої роботи двигуна і як наслідок і всього мобільного механічного засобу.

### Список використаних джерел

1. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання. А. В. Новицький [та ін.]. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. 209 с.

2. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей. З. В. Ружилю, Мельник В.І., Новицький А.В., [та ін.].- К. : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310 с.

3. Ружилю З.В. Бутківський О.Л. Дефекти гільз циліндрів двигунів ЯМЗ-240. Матеріали наукової конференції студентів та аспірантів НУБіП України. К. 2016. С. 47.

4. Часник К.Ю., Котенко Є.Ю., Демина Ю.Ю., Коноплянченко Є.В. Дослідження процесу зносу та обґрунтування технологічних рішень для відновлення поверхонь спряження деталей машин. Матеріали VII Міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI сторіччі. Харків. ХНТУСГ. 2011. С. 92.

5. Часник К.Ю., Коноплянченко Є.В. Дослідження процесу зносу та обґрунтування технологічних рішень для впровадження нової технології ремонту колінчастих валів дизельних двигунів. Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ. Т. III. Суми. 2011. С. 98.

УДК 631.171

## **ОСНОВНІ ПОШКОДЖЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ РАДІАТОРІВ**

**В. В. ТОКАРЧУК**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: к.т.н., доцент Зіновій РУЖИЛО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В системі охолодження радіатор двигуна виконує роль основного теплообмінника: по його трубках проходить нагрітий антифриз, охолоджуючись потоком повітря. Від його справності в значній мірі залежить якість роботи двигуна.

Ознакою поломки радіатора є поява протікання: калюжка антифризу під машиною насторожить будь-якого водія і змусить звернутися за діагностикою. Другий дзвіночок – перегрів двигуна, що може призвести до дорогого капітального ремонту. У цих випадках винуватцем проблеми може бути не тільки радіатор, але і інші компоненти системи охолодження.

Порушення герметичності радіатора може відбутися з кількох причин:

- механічне пошкодження через аварію;
- потрапляння на радіатор камінчиків і гілок, які мають досить велике прискорення, щоб пробити з'єднувальні трубки;
- корозія металевих частин, що виникає через використання неякісного антифризу або простої води;
- протікання патрубків через ослаблення сполучних хомутів;
- розходження швів через вібрації і природне зношення;

- тріщини бачків радіатора – одна з «хвороб» пластикових деталей;
- накип і відкладення в радіаторі, які забивають трубки;
- замерзання охолоджувальної рідини всередині радіатора.

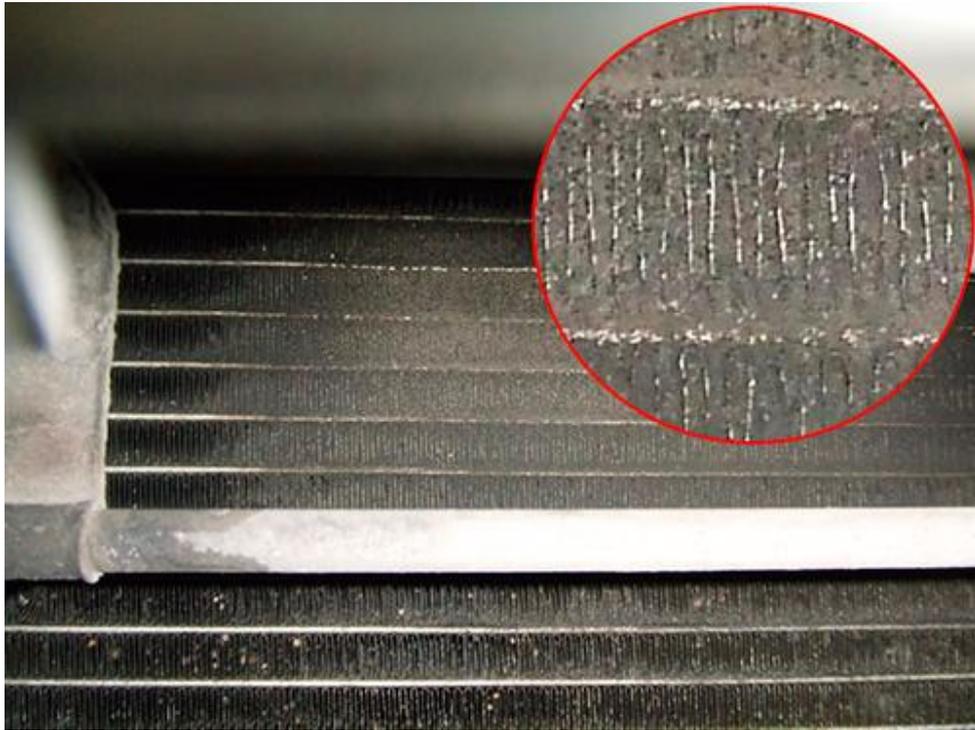


Рис. 1. Вид забрудненого радіатора



Рис. 2. Механічні пошкодження радіатора

Сучасні алюмінієві радіатори практично не підлягають ремонту: заповнення їх обійдеться в ту ж суму, що і придбання нового, а значить, ремонт має сенс тільки на рідкісних або дуже дорогих моделях. В інших випадках краще дотримуватися профілактичних заходів, щоб радіатор послужив якомога довше:

- покупка якісних виробів від європейських виробників;
- використання хорошого антифризу, який не залишає нашарувань на «сотах» і в інших частинах системи охолодження;

- своєчасний долив антифризу і заміна в разі необхідності (як і інші технічні рідини, він випаровується і деградує з часом);
- підбір радіатора відповідно до технічними характеристиками автомобіля, щоб при монтажі не було перекосів, ділянок напруги і зайвої вібрації;
- установка захисту на радіаторну решітку автомобіля, що в рази знижує ймовірність попадання всередину каменів і комах;
- періодичне ТО радіатора і всієї системи охолодження.

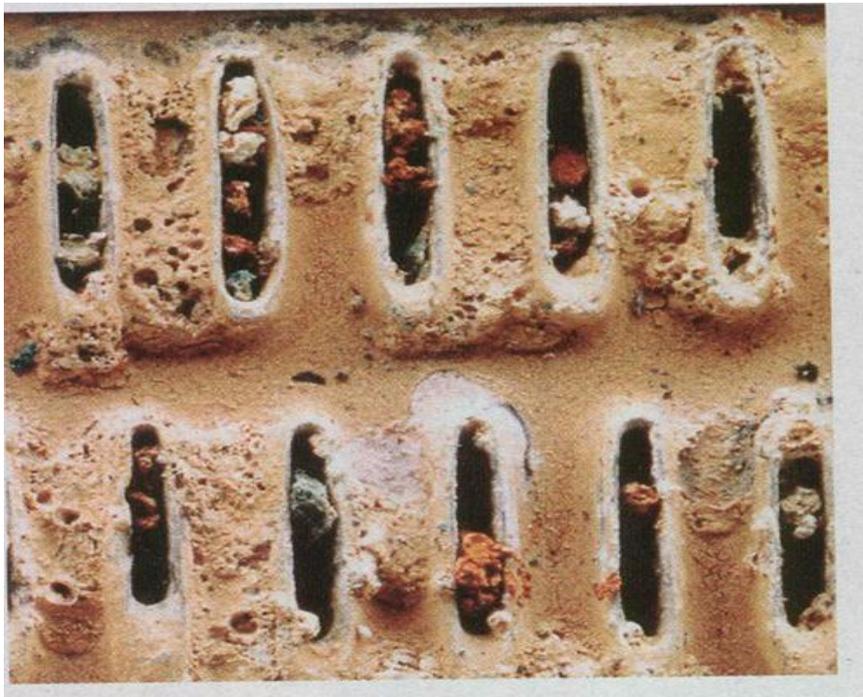


Рис. 3. Накип радіатора

Найпростіший спосіб збільшити термін нормальної експлуатації радіатора – періодично прибирати бруд з зовнішніх «сот» і відкладення на внутрішніх стінках порожнин.

Для промивання системи охолодження необхідно:

- Дочекатися повного охолодження двигуна і зниження тиску в системі охолодження.
- Злити в окрему ємність антифриз через кран в нижній частині радіатора. Стан зливої рідини буде показником забрудненості системи: якщо антифриз чистий, то і всередині немає нальоту та іржі. Якщо ж в антифризі є бруд, осад або він «неправильного» кольору – систему охолодження краще промити.
- Залити дистильовану воду. Для більшого ефекту в воду можна додати трохи (кілька грам) некислотного засобу від накипу, спеціалізованого або навіть побутового. Агресивні засоби від накипу можуть пошкодити пластикові частини системи, спровокувати появу корозії на металевих елементах. Завести двигун на 15-20 хвилин.
- Злити воду з миючим засобом, залити чисту воду і знову завести машину. Повторювати промивку до тих пір, поки вода, що зливається з радіатора, не стане абсолютно прозорою.

- Відкрити кришку радіатора і залити свіжий антифриз. Завести двигун, щоб усунути повітряні пробки, при цьому рівень антифризу трохи знизиться. Долити до потрібного рівня і закрити кришку.

Щоб помити радіатор зовні, його необхідно демонтувати. Зазвичай очищення проводять струменем води (не дуже сильним, щоб не пошкодити стільники), м'якою щіткою і неагресивним миючим засобом. Видаливши «шубу», що наростає на радіаторі, можна в разі поліпшити його тепловіддачу, а значить, і ефективність системи в цілому.

#### **Список використаних джерел**

1. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання. А. В. Новицький [та ін.]. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. 209 с

2. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей. З. В. Ружилю, Мельник В.І., Новицький А.В., [та ін.]. К. Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310 с.

3. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружилю З. В. Організація сервісного виробництва. К. НУБіП України. 2017. 221 с.

4. Кринецький І. І. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. Київ – Одеса. Вища школа. 1981. 208 с.

5. Практикум по ремонту машин. О.І. Сідашенко. О.А.Науменко. Харків. Прапор. 1992. 380 с.

УДК 631.171

## **КАНАЛЬНИЙ ПАДІЙМАЧ-МАНІПУЛЯТОР**

**І. С. ЧАЛІЄНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: к.т.н., доцент Зіновій РУЖИЛО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Гостра конкуренція на ринку автомобільних перевезень потребує значного покращення ефективності виробництва по підтриманню працездатності рухомого складу автомобільного транспорту, економії матеріальних ресурсів. Значне місце при цьому мають напрямки на зменшення витрат на паливно-мастильні матеріали та шини.

Також важливим є удосконалення виробничо-технічної бази автотранспортних підприємств. Завдання економії палива на автомобільному транспорті може вирішуватись шляхом удосконалення нормування та систематичного контролю за його витратами для своєчасного виявлення впливу технічного стану автомобіля на витрати.

Для модернізації матеріально-технічної ремонтної бази, підвищення ефективності проведення ремонтних робіт та безпеки їх виконання пропонується конструкція каналного підіймача-маніпулятора.

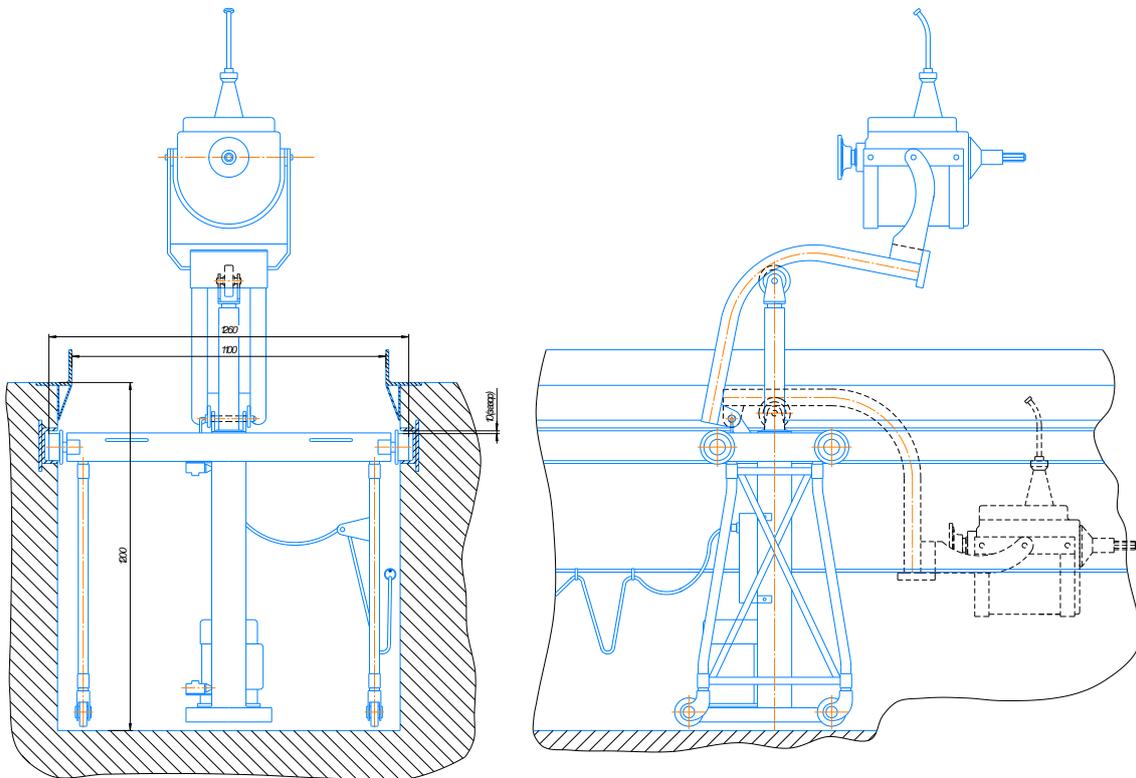


Рис. 1. Загальний вигляд каналного підіймача-маніпулятора.

Електромеханічний підіймач-маніпулятора призначений для підвішування передньої або задньої частини автотранспортного засобу на оглядову яму, а також для зняття та встановлення агрегатів, що мають доступ з нижньої частини.

Підіймач призначений для використання на одиночних постах поточного ремонту автомобільної техніки.

Опори піднімають вручну і фіксуються автоматично пружинними фіксаторами. Опори забезпечують надійну фіксацію автомобіля у підвішеному стані.

Сам підіймач складається з візка, підйомного механізму, панелі керування та з'єднувального кабелю.

Візок має зварну конструкцію. У нижній частині рами візка встановлено чотири самовирівнювальні поворотні колеса.

У верхній частині візка є чотири ролики. Колеса використовуються для транспортування агрегату до робочої зони кранової балки або іншого підйомного механізму. Ролики використовуються для підтримки підйомника на напрямних оглядової канави під час підвішування автомобіля. Крім того, колеса дозволяють використовувати підіймач на стовпах, обладнаних естакадами, або стаціонарних гаражних підіймачах. Підйомний механізм складається з електродвигуна, редуктора з циліндричними шестернями та гвинтової передачі. На валу підйомного механізму може бути встановлений ролик для роботи з

підхоплювачами агрегатів. У цьому випадку один кінець підхоплювача закріплений шарніром на візку, а інший взаємодіє з роликом.

Підіймач підкочують під автотранспортний засіб, встановлюють домкрат для передньої або задньої осі, а передня або задня частина транспортного засобу підвішується. Встановлюють опори у вертикальне положення і опускають автомобіль на них. Від'єднують агрегат, що знімається згідно технологічної карти. Встановлюють в гніздо важеля відповідний підхват і підводять під агрегат, що знімається. Опускають агрегат і вивозять його в зону роботи кран-балки. Знімають агрегат і транспортують його в зону ремонту. До роботи на посту з використанням підіймача-маніпулятора допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки під час технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, а також ті, що вивчили будову та правила експлуатації підіймача-маніпулятора.

Використання даного підіймача-маніпулятора на 10-12% підвищує продуктивність ремонтних робіт та суттєво покращує безпечність їх виконання.

#### **Список використаних джерел**

1. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання / А. В. Новицький [та ін.]. К. Видавничий центр НУБіП України, 2023. 209 с.

2. Надійність машин та обладнання : навчальний посібник. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей / З. В. Ружило, Мельник В.І., Новицький А.В., [та ін.]. К. Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310 с.

3. Положення про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту. К. Мінтранс України, 1998.78 с.

4. Самохвалов Я.А., Левицький М.Я., Григорош В.Д. Довідник техника-конструктора. К. Техніка. 1978. 592 с.

5. ДНАОП 0.05-8.04-92. Про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці.

УДК 629.014.63

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ХТЗ**

**О. І. МИЛАЦЬКИЙ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Володимир СИВОЛАПОВ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Оскільки коробка передач є важливою складовою трансмісії трактора, має складну конструкцію та високу вартість, дуже важливо проводити ремонт та регулювання її в відповідності з технічними вимогами [1, 2].

До основних дефектів корпусу коробки передач належать органічні і мінеральні відклади на внутрішніх стінках, тріщини і зломи, пошкодження різьби, неплотинність привалкових поверхонь, спрацювання поверхонь під підшипники, їх стакани, валики і фіксатори [3].

При наявності зломів, які виходять на поверхню отворів, корпус коробки передач вибраковуюють. Тріщини розробляють під кутом  $90^\circ$  С, кінці їх засвердлюють свердлом діаметром 3...4 мм. Заварити дротом ПАНЧ-11. Обробити нерівності зварного шва з плавним переходом Зварний шов повинен бути рівним, щільним, без тріщин, пористості, непроварених місць і напливів. Після цього його зачищають і перевіряють на герметичність. При перевірці на герметичність, на протязі 5 хвилин поява плям гасу на поверхні зварного шва, обробленого крейдою, не допускається

При пошкодженні різьби отвір розсвердлюють, нарізають різьбу і встановлюють ремонтну пробку на епоксидній суміші. Зміщення осей відновлених різьбових отворів допускається не більше як на 0,25 мм від їх номінального розміщення. Допустимий спосіб – розсвердлити отвір, нарізати різь, вкрутити різьбову спіральну вставку

Спрацьовані отвори під підшипники і стакани підшипників розточують, проводять місцеве осталування і знову розточують до нормальних розмірів. Під час осталування поверхня повинна бути рівною, срібристо-білого кольору. Тріщини, відшарування, пори, раковини, темні смуги на поверхні покриття не допускаються.

Електролітичне осадження металу проводиться в слідуючому режимі. Травлення осталуваної поверхні кислотою соляною технічною. Декапувати при зворотній полярності (Залізо двохлористе ГОСТ 4149-65 (250...300 г), кислота соляна технічна ГОСТ 1382-89 (1...1,5 г),  $t=20...40^\circ\text{C}$ , щільність струму  $5 \text{ A}/\text{дм}^2$ , напруга 12 В, відношення анодної поверхні до катодної 2:1, час 5 хв.). Електролітичне осадження металу в режимі (Залізо двохлористе ГОСТ 4149-65 (250...300 г), кислота соляна технічна ГОСТ 1382-89 (1...1,5 г),  $t=20...40^\circ\text{C}$ , щільність струму  $30...40 \text{ A}/\text{дм}^2$ , напруга 12 В, відношення анодної поверхні до катодної 2:1, час 60..180 хв.).

Основними дефектами валів коробки передач є спрацювання шліців, поверхонь під підшипники кочення, зубів по товщині, канавок під ущільнювальні кільця вторинного вала, органічні і мінеральні відклади в його каналах, пошкодження різьби, тріщини, поломка і викришування зубів. Спрацювання стінок канавок вторинного вала під ущільнювальні кільця допускається до 2,63 мм.

Кінці валів з пошкодженою різьбою наплавляють віброконтактним способом наплавочним дротом 1,8Нп-50, обточують наплавлений кінець до нормальних розмірів, фрезерують лиски і канавки чи свердлять отвори відповідно до конструкції вала та нарізають нову різьбу.

Відновлення деталей коробки передач механізованим наплавленням в середовищі вуглекислого газу.

Наплавленням деталей коробки передач в середовищі вуглекислого газу усувають дефекти різьб, знос осей і валів, шліців більше 0,7 мм по діаметру та інші.

Режими наплавлення вибирають так, щоб було забезпечено отримання якісного наплавленого шару, мінімальний припуск на механічну обробку поверхонь. Деталі наплавляють на постійному струмі зворотної полярності. Витрата вуглекислого газу 7 ... 10 л/хв.

В залежності від призначення деталі, матеріалу і термічної обробки рекомендується наступні марки електродного дроту: Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА. Для наплавлення різьбових поверхонь застосовують дріт Св-08Г2С, а для шліців і шийок валів - Нп-30ХГСА, Св-18ХГСА.

На якість наплавленого металу і стабільність процесу наплавлення істотний вплив робить стан поверхні електродного дроту. Вона зазвичай покрита тонким шаром технологічного змащення, а іноді органічними антикорозійними речовинами (оливами), які погіршують стійкість процесу наплавлення, підвищують розбризкування металу, служать причиною утворення в наплавленому металі пор. У зв'язку з цим електродний дріт рекомендується прожарювати при температурі 100 ... 150 ° С протягом 1 ... 1,5 годин.

#### **Список використаних джерел**

1. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З.В. Організація сервісного виробництва. К. НУБіП, 2017. 212 с.

2. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.

3. Новицький А.В., Бистрий О.М., Ружило З.В., Банний О.О, Сиволапов В.А. (2023). Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.

УДК 621.432.3

## **ВІДНОВЛЕННЯ БЛОКІВ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗВАРЮВАННЯМ**

**Д. В. СТАРІНЕЦЬ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Володимир СИВОЛАПОВ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Основні дефекти блоків циліндрів, що підлягають усуненню під час капітального ремонту, та приблизний процент повторюваності наступні [1-3]: зношування, неспіввісність, пошкодження постелей корінних підшипників – 40...60 %; кавітаційні раковини на нижньому посадковому пояску під гільзу

циліндра, зминання, деформація пояса - 30...50%; різниця в розмірах гнізда під бурт гільзи, циліндра глибиною більше 0,05 мм – 30...40%; пошкодження різбових отворів, облом шпильок - 30...40%; тріщини, пробоїни на блоці – 15...25%.

Більшість блоків циліндрів виготовлено з сірого чавуну СЧ18-36. Особливості відновлення зварюванням чавунних деталей обумовлені труднощами створення пластичного і щільного металу шва і навколошовної зони внаслідок високого вмісту в чавуні вуглецю, схильності його до відбілювання через різкий перехід при нагріванні з твердого, стану в рідкий, малої пластичності і низької ударної в'язкості, незворотного об'ємного стану під впливом високих температур, нерівномірності усадки металу при кристалізації зварювальної ванни і т.д.

Усунення дефектів (зносів, тріщин, обломів) у чавунних деталях (на прикладі блоків і головок циліндрів) може здійснюватися «гарячим» і «холодним» зварюванням.

«Гаряче» зварювання застосовують виконують як ацетилено-кисневе при нагріванні деталі до 650...680°C. Як присадковий матеріал використовують чавунні прутки марки А (3,0...3,6 % С; 3,0...3,5 % Si; 0,3 % Mn ; 0,6 % Cr; 0,3 % Ni ; 0,08% S; 0,3...0,5% P) і спеціальний флюс ФСЧ-1 (23% Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; 27% NaCO<sub>3</sub>, 50% NaNO<sub>3</sub>). Охолодження деталі в процесі зварювання нижче 500° С не допускається. Після зварювання необхідні низькотемпературний відпал з нагріванням деталі до 650...670°C і охолодження її разом з піччю.

Таким чином деталь нормалізується, знімаються внутрішні напруження.

Основні недоліки способу гарячого зварювання блоків циліндрів - велика трудомісткість і важкі умови праці зварювальника.

До прогресивних методів «холодного» зварювання чавуну відносять такі [4]:

- напівавтоматичне газоелектричне зварювання спеціальним дротом ПАНЧ-11;

- напівавтоматичне газоелектричне зварювання дротом МНЖКТ-5-1-02-02 марки А  $\varnothing$ 1,0... 1,2 мм в середовищі аргону виконують при постійному струмі 80...120 А зворотної полярності, напрузі 20...25 В, швидкості подачі дроту 7...11 м/хв, витраті аргону 6...9 л/хв. Рекомендується проковування шва. Для зварювання дротом ПАНЧ-11 і МНЖКТ використовуються сучасні напівавтомати. Найкращі результати забезпечуються при зварюванні на установках типу УДГ-301 і використання зазначених дротів у вигляді присадочного матеріалу;

- зварювання електродами МНЧ-1, виготовленими з монель-металу (63% Ni + 37% Cu) зі спеціальним фтористо-кальцієвим покриттям типу УОНІ-13/55, виконують електродами  $\varnothing$ 3...4 мм при постійному струмі 140 ...150 А зворотної полярності, короткою дугою, невеликими ділянками довжиною 20...30 мм, які відразу ж проковують. Метал шва є в'язкий залізо-нікеле-мідний сплав. Нікель необмежено розчиняється в залізі, а нікелевий аустеніт, що утворюється, розчиняє велику кількість вуглецю без утворення карбідів і забезпечує високу пластичність, низьку твердість і хорошу оброблюваність шва;

- зварювання електродами ЦЧ-4  $\varnothing 3...4$  мм зі сталі Св-08 або Св-08А з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить титан або ванадій, ведуть при постійному струмі 120...130 А зворотної полярності та напрузі дуги 20 В. Після накладання валика рекомендується його проковування. Сприятливо дається взнаки підігрів деталі до 150...200°C. Ванадій пов'язує вуглець у важкорозчинні дрібнодисперсні карбіди. Недолік електродів ЦЧ-4: можливість виникнення тріщин у середині шва; зварювання електродами Ц4-3А (Св-08Н50) з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить до 5,25% кремнію (рекомендується для деталей з модифікованого чавуну); при зварюванні електродами ОЗЧ-1 з мідного електродного дроту з фтористо-кальцієвим покриттям, що містить залізний порошок, метал шва являє собою залізо-мідний шар (89% Fe + 11% Cu) з високою пластичністю, щільністю і міцністю, але поганою оброблюваністю. Процес зварювання рекомендується вести при струмі 150 А зворотної полярності і напрузі 20 В, короткою дугою, невеликими ділянками довжиною 30...60 мм. Кожну ділянку шва слід проковувати і продовжувати зварювання лише після охолодження шва до 50...60°C. Щільність з'єднання може бути підвищена за рахунок застосування електрода ОЗЧ-1 у поєднанні з електродами МНЧ-1, якими наплавляють останній шар. Так як зона підвищеної твердості створюється по межі сплавлення, для поліпшення оброблюваності шва перші шари рекомендується наплавляти також електродами МНЧ-1;

- напівавтоматичне зварювання тонким електродним дротом Св-08Г2С  $\varnothing 1,0...1,2$  мм в середовищі вуглекислого газу проводять на такому режимі: сила струму 80...100 А зворотної полярності, напруга 20...22 В, витрата газу 6...9 л/хв.

Особливості відновлення деталей зі сплавів алюмінію обумовлені такими причинами:

- утворенням тугоплавких оксидів  $Al_2O_3$  з температурою плавлення 2050°C (у той час як температура плавлення сплавів алюмінію АЛ-5 і АЛ-9 відповідно 535 і 550 °C) і тонкої плівки оксидів (0,002 мм), що перешкоджає з'єднанню основного та наплавлюваного матеріалів, а також забруднюючої зварювальний шов окислами;

- великою теплопровідністю та високим коефіцієнтом лінійного розширення, що сприяє виникненню тріщин;

- інтенсивним поглинанням газів розплавленим металом;

- великою текучістю сплавів алюмінію при їх плавленні та труднощами визначення початку їх плавлення (при нагріванні не змінюють колір);

- низькою міцністю алюмінію та його сплавів при нагріванні до 400...500°C.

Як основні способи зварювання деталей зі сплавів алюмінію рекомендуються: зварювання на змінному струмі вольфрамовим електродом, що не плавиться, в середовищі аргону на установках типу УДАР або УДГ (найефективніший спосіб), а також електродугове зварювання спеціальними електродами ОЗА-2 для зварювання ливарних сплавів і ОЗА-1 для зварювання технічного алюмінію.

У всіх випадках для підвищення якості зварювання деталей, виготовлених із алюмінієвих сплавів, рекомендується:

- ретельне зачищення зварюваних поверхонь;
- обробка кромки та знежирення їх ацетоном;
- попередній підігрів відновлюваних деталей до температури 250...300 °С для запобігання короблення деталей через нагрівання при зварюванні, виникнення тріщин і забезпечення більш спокійної кристалізації рідкого металу;
- наступний низькотемпературний відпал при температурі 300...350 °С зняття внутрішніх напруг і поліпшенням структури зварювального шва.

Присадочний матеріал повинен бути однорідним зі зварюваним і може бути отриманий в результаті переплавлення відповідних вибраканих деталей, виготовлених із алюмінієвих сплавів з вмістом кремнію 5...6 %.

#### **Список використаних джерел**

1. Новицький А. В., Карабиньш С. С., Ружи́ло З.В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіП, 2017. 212 с.
2. Ружи́ло, З. В., Мельник, В. І., Новицький, А. В., Ревенко, Ю. І., Бистрий, О. М., Попик, П. С., Мельник, В. І. (2023). Надійність машин та обладнання. Ч. 2 Ремонтвання машин та відновлення деталей. Київ. НУБіП України. 309 с.
4. Новицький А.В., Бистрий О.М., Ружи́ло З.В., Банний О.О, Сиволапов В.А. (2023). Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.
5. Ремонт дизельних двигунів. Довідник /Л.С. Єрмолов, О.А. Науменко, О.І. Сідашенко, І.Г. Шержуков; За ред. Л.С. Єрмолова. К.: Урожай, 1991. 248 с.

УДК 631.33:631.3.004.6:004.942

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВИХ УМОВ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Н. О. МІЩЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Павло ПОПИК**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Технологічний процес функціонування пневматичного зернового комплексу реалізується за наступним алгоритмом (рис. 1.): обертальний рух від приводного колеса передається через трансмісійну систему, приводячи в дію дозуючу котушку висівного апарату. Насінневий матеріал надходить самопливом із завантажувального бункера безпосередньо на цю котушку.

Контроль за нормою висіву (витратою) посівного матеріалу здійснюється шляхом регулювання активної довжини дозуючої котушки. Для унеможливлення неконтрольованого просипання насінневого матеріалу, а також для запобігання його механічного пошкодження краї котушки оснащені спеціальним гумовим ущільнювачем та нейловою щіткою. Під час

функціонування вентилятора передача енергії повітряному потоку відбувається в момент його проходження через лопаткові канали робочого колеса. Аналітичне визначення тиску, що генерується вентилятором, вимагає детального розгляду динаміки повітряного потоку в цих міжлопаткових каналах.

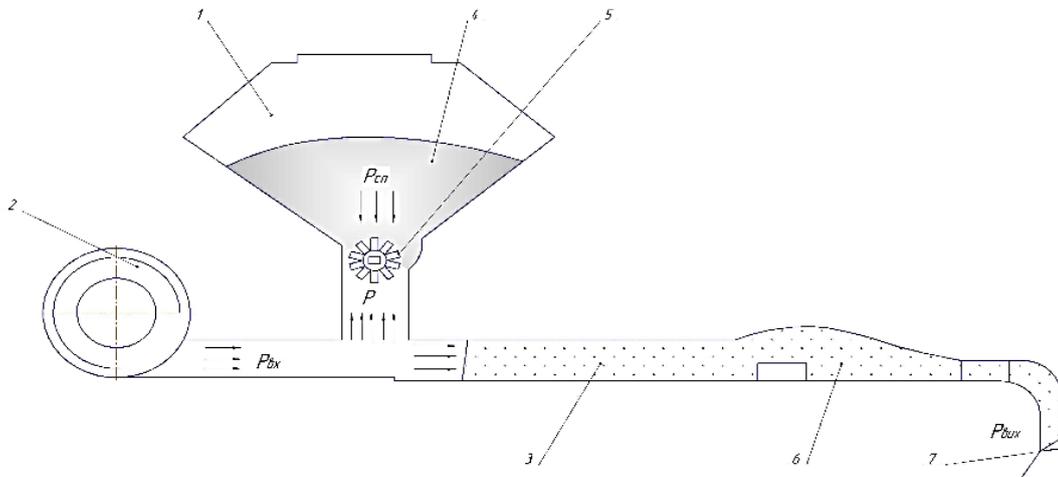


Рис. 1. Технологічна схема посівного комплексу: 1 - бункер; 2 - вентилятор; 3 - пневмопровід; 4 - насіння; 5 - котушка висівного апарату; 6 - розподільний пристрій; 7 - сошник.

Теоретичний розрахунок величини повного тиску вентилятора базується на запровадженні низки допущень, а саме: щільність повітря незмінна; витрата повітря через робоче колесо дорівнює витраті повітря через вентилятор; повітряний потік, що проходить через вентилятор, тільки набуває енергію; число лопаток робочого колеса нескінченно велика та траєкторія витання повітря збігається із профілем лопатки; всі лопатки колеса працюють однаково.

УДК 629.3.004.6:504.054

## ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ПНЕВМОПІДВІСКИ І ВИТРАТУ ЗАПЧАСТИН ДЛЯ АВТОБУСІВ ВЕЛИКОГО КЛАСУ

**Р. С. ПАВЛЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник: к.т.н. Дмитро КАЛІНІЧЕНКО**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Надійність пневмопідвіски залежить від великої кількості факторів. До кліматичних факторів відносять температуру (високі і низькі значення), частку днів з опадами, вологість, сонячну радіацію, туман, пилові бурі. Слід зазначити, що кліматичні фактори посилюють відмови, що виникають в результаті дії сил тертя, втомних явищ в металі, випадкових перевантажень і інших проявів зносу деталей. На рис.1. показаний вплив кліматичних факторів на автомобіль

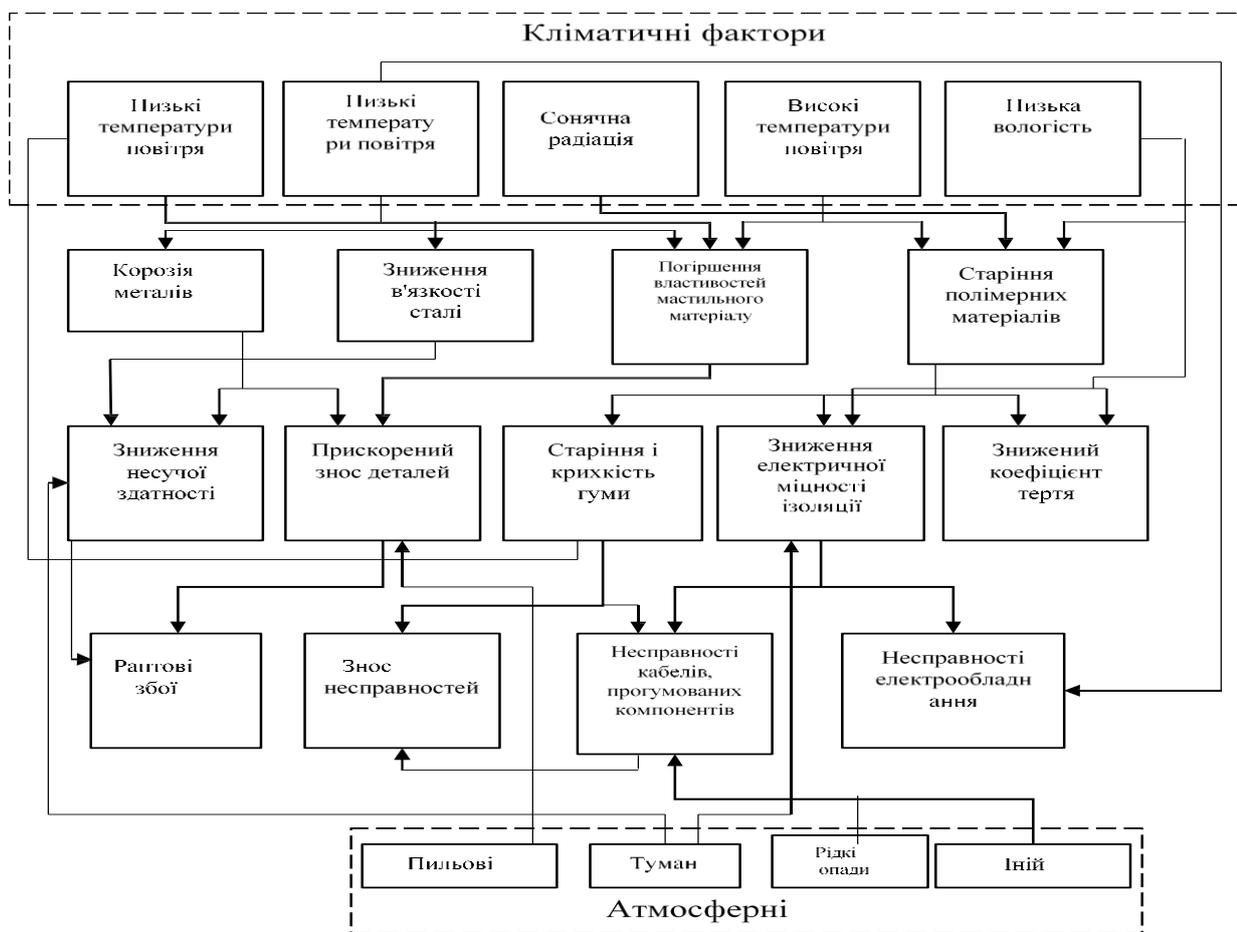


Рис. 1. Схема комплексного впливу основних кліматичних факторів і атмосферних явищ на надійність об'єктів

Запропоновану класифікацію факторів, що впливають на витрату запасних частин показано на рис. 2. Цю класифікацію беруть за основу, додаючи нові дослідження. Сукупність факторів, що визначають потребу в запасних частинах, прийнято ділити на чотири групи: конструктивні, експлуатаційні, технологічні та організаційні. Виділено три основні типи факторів, що впливають на технічний стан автомобіля. Технологічні фактори залежать від якості матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей, застосування відповідної термічної обробки і складальних робіт. На технічний стан автомобіля значною мірою впливають перераховані вище фактори.

Запасні частини розділені на чотири типи. Перший тип - це деталі, від яких залежить безпека руху (в процесі експлуатації автомобілів їх періодично змінюють, незалежно від їх стану). Другий тип - це деталі, термін служби яких дорівнює пробігу автомобілів до капітального ремонту (вони не змінюються в процесі експлуатації). Третій тип це деталі, які мають обмежений термін служби і передбачені для заміни в процесі експлуатації. Четвертий тип - це деталі, заміна яких супроводжується заміною деталей перших трьох груп (прокладки, ущільнювачі, кріплення і т.д.). Для автотранспортних підприємств основна увага повинна бути приділена поставці запасних частин першої, третьої і четвертої груп. Термін служби вузлів і окремих деталей, в значній мірі, залежить від умов експлуатації автомобілів. Тому на кожному автомобілебудівному підприємстві

необхідно проводити статистичний аналіз терміну служби окремих вузлів і деталей і на підставі цього здійснювати планування і поставку запасних частин.

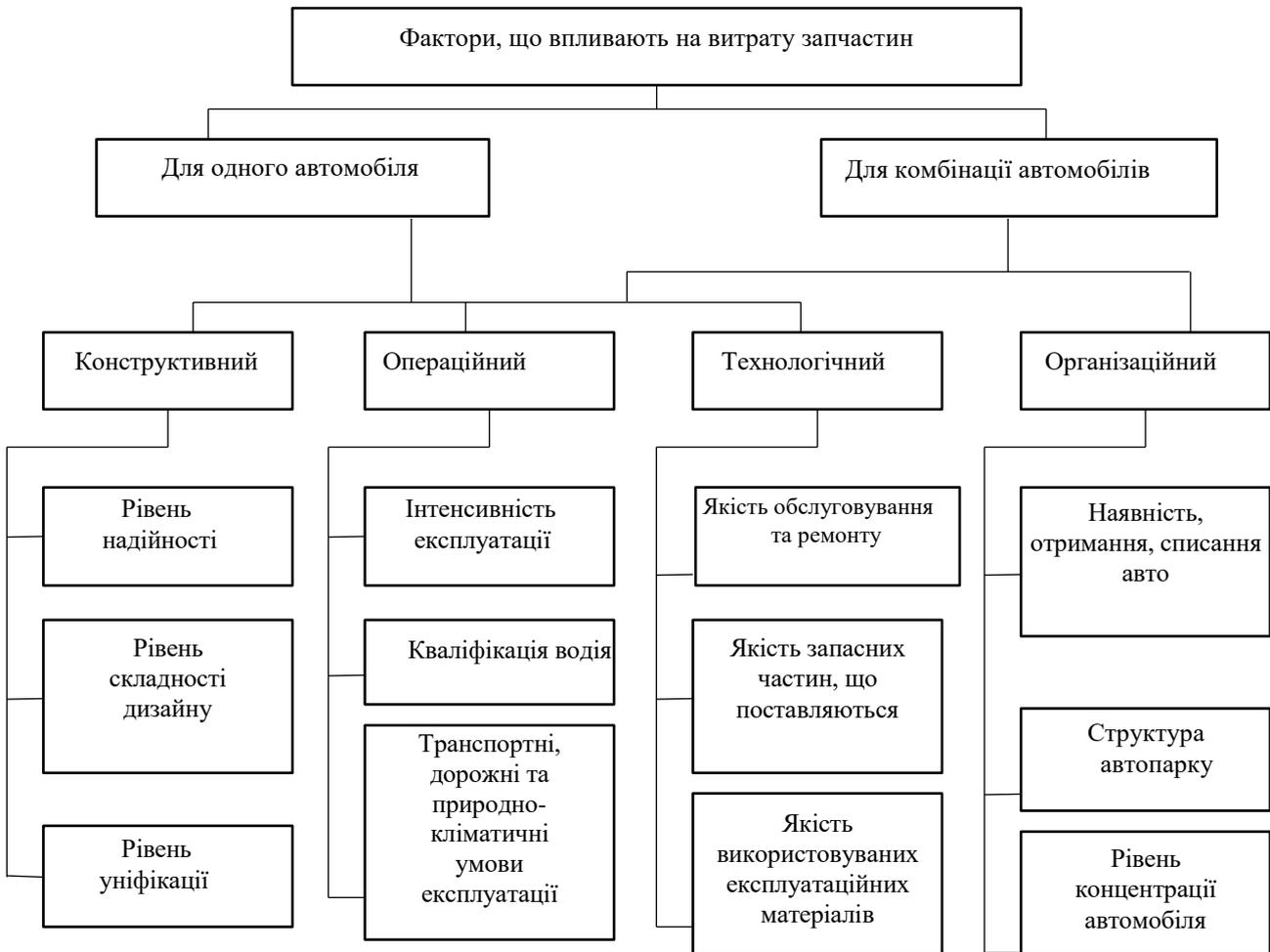


Рис. 2. Класифікація факторів, що впливають на витрату автомобільних запчастин

УДК 621.43.01

## ЗНИЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА

**С. М. ДЕМЧЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Олександр БАННИЙ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Вступ. Підвищення ефективності двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) нерозривно пов'язане з проблемою мінімізації механічних втрат. Відомо, що втрати на тертя в циліндро-поршневій групі (ЦПГ) складають до 40-50% від усіх механічних втрат двигуна. Основною причиною зниження ресурсу та падіння

коефіцієнта корисної дії (ККД) є інтенсивне зношування пари тертя «поршневе кільце – дзеркало циліндра», яке працює в умовах граничного та напіврідинного мащення, високих температур і знакозмінних навантажень [1].

Актуальність. Традиційні методи обробки гільз циліндрів (хонінгування) часто не забезпечують достатньої твердості поверхневого шару для сучасних форсованих двигунів. Тому застосування технологій поверхневого зміцнення є критично важливим для підвищення механічного ККД ( $\eta_m$ ) та довговічності агрегату.

Основна частина. Метою роботи є аналіз впливу модифікації поверхневого шару гільзи циліндра на трибологічні характеристики спряження.

Для зниження коефіцієнта тертя та підвищення зносостійкості пропонується застосування методів концентрованого потоку енергії (наприклад, лазерне термозміцнення або плазмове напилення композитних матеріалів). Зміцнення робочої поверхні базується на створенні гетерогенної структури матеріалу, що поєднує високу твердість опорних поверхонь із пластичністю основи [2, 3]. Згідно із законом Арчарда, об'єм зношеного матеріалу  $V$  обернено пропорційний твердості поверхні  $H$ :

$$V = k \frac{F_N \cdot L}{H}$$

де:  $k$  — коефіцієнт зносу (безрозмірний);  $F_N$  — нормальне навантаження;  $L$  — шлях тертя.

Збільшення мікротвердості поверхневого шару ( $H$ ) безпосередньо призводить до зменшення інтенсивності зношування. Однак просте збільшення твердості може призвести до крихкості. Тому оптимальним рішенням є створення специфічного мікрорельєфу – наприклад, методом платохонінгування після лазерного легування [3, 4]. Це дозволяє досягти двох ефектів:

1. Збільшення несучої здатності: Тверді "плато" сприймають основне навантаження від поршневих кілець, мінімізуючи пластичну деформацію та ризик задирок.

2. Покращення маслоємності: Впадини мікрорельєфу, утворені в процесі обробки або лазерного текстурування, слугують резервуарами для мастила (масляними кишнями). Це забезпечує стабільність масляної плівки навіть у моменти зупинки поршня у верхній та нижній мертвих точках (ВМТ і НМТ), де швидкість ковзання наближається до нуля, а умови мащення є найгіршими.

Результати досліджень. Теоретичні розрахунки та стендові випробування показують, що зміцнення поверхні циліндра до значень мікротвердості HV 600–800 дозволяє: знизити коефіцієнт тертя в парі «кільце-циліндр» на 15–20%; зменшити механічні втрати двигуна, що еквівалентно зниженню витрати палива на 2–3%; збільшити ресурс ЦПГ до капітального ремонту в 1,3–1,5 рази.

Висновки. Застосування технологій поверхневого зміцнення робочої поверхні циліндра є ефективним методом підвищення техніко-економічних показників ДВЗ. Створення модифікованого шару з високою твердістю та оптимізованою топологією поверхні забезпечує перехід від граничного тертя до

гідродинамічного на більшій частині робочого циклу, що мінімізує знос та механічні втрати.

### Список використаних джерел

1. Новицький А.В., Бистрий О.М., Ружило З.В., Банний О.О., Сиволапов В.А. (2023). Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.
2. Voituk, V., Bannyi, O., & Berezovyy, M. (2017). Analytical determination of the residual resource of the technical system elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(1 (86)), 22–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96637>.
3. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф. Автомобільні двигуни: підручник. Київ: Арістей, 2018. 512 с.
4. Калагуря, В. І., & Осетинський, О. Ю. (2019). Вплив технологічних методів обробки на формування мікрорельєфу поверхні гільз циліндрів ДВЗ. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Автомобіле- та тракторобудування, (1), 45–52.

УДК 656:005.591:004

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ІННОВАЦІЙ НА СЕРВІСНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

**О. М. ГАЙДАЙ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

**Наукові керівники:** к.т.н. **Віталій ЛІСЕЦЬКИЙ**,  
к.е.н., доцент **Валентина МЕЛЬНИК**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Логістичні інновації, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та системи планування ресурсів підприємства (ERP), трансформують сервісні підприємства, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати. За даними McKinsey, впровадження IoT у логістиці може скоротити витрати на технічне обслуговування на 10–20% за рахунок прогнозного аналізу [1]. Актуальність теми полягає в переході сервісних підприємств до цифровізації для досягнення конкурентних переваг, особливо в агросфері, де логістика становить 15–20% витрат [2]. Кейсовий підхід дозволяє аналізувати реальні ситуації, а використання шаблонів оцінювання (наприклад, SWOT, ROI) – розробляти стратегії впровадження.

Логістичні інновації полягають у застосуванні цифрових технологій для оптимізації ланцюгів постачання, моніторингу техніки та планування сервісу. За визначенням СЕМА, вони включають IoT для реального часу моніторингу та AI для прогнозування [3]. На сервісному підприємстві (наприклад, логістичній

компанії) інновації зменшують простой техніки на 10–15% [4]. Ефективність оцінюється через ключові показники ефективності (KPI), такі як ROI (повернення інвестицій) та TCO (загальна вартість володіння). Кейсовий метод, за Harvard Business School, передбачає аналіз реальних сценаріїв для розвитку навичок [5]. Наведемо у якості прикладів деякі кейси використання логістичних інновацій.

Кейс 1. Впровадження IoT на сервісному підприємстві в агросфері. Компанія John Deere впровадила платформу Operations Center для моніторингу тракторів за допомогою IoT-датчиків, що аналізують вібрацію та температуру для прогнозування зносу [6]. Результатом стало скорочення простоїв на 15%, зниження витрат на ремонткування на 10–20% [1]. Для логістики це означає оптимізацію маршрутів і планування сервісу, з економією пального на 8% [7]. Кейс демонструє, як IoT інтегрується з CAN-шиною для передачі даних.

Кейс 2. Використання AI в логістичному сервісі. У EOS Data Analytics агрохолдинг в Україні впровадив AI для аналізу супутникових даних і IoT з техніки, що дозволило прогнозувати ремонти комбайнів [8]. Результатом стало підвищення продуктивності на 10%, економія \$30 000 на сезон [8]. Для сервісного підприємства це означає інтеграцію AI з ERP для автоматизації планування, з ROI 25% [9].

Кейс 3. ERP-системи на сервісному підприємстві. Компанія Folio3 AgTech впровадила AgriERP для управління запасами запасних частин і ремонтами в агросекторі, що зменшило простой на 10–15% [10]. Результатом стала оптимізація ланцюгів постачання, зниження витрат на 15–20% [11]. Кейс показує інтеграцію ERP з IoT для реального часу моніторингу.

Таблиця 1

Шаблон SWOT-аналізу для логістичної інновації

| Аспект               | Сильні сторони  | Слабкі сторони                | Можливості                               | Загрози                      |
|----------------------|---|-------------------------------|--|------------------------------|
| IoT для моніторингу  | Реальний час даних, скорочення простоїв на 10–15% [4]   | Високі інвестиції, кіберризик | Інтеграція з ERP, економія 10–20% [1]    | Кібератаки, технічні збої    |
| AI для прогнозування | Прогноз зносу, ROI 25% [9]                              | Брак даних для навчання       | Зниження витрат на ремонт на 15% [8]     | Помилки алгоритмів           |
| ERP для управління   | Автоматизація постачань, зниження витрат на 15–20% [11] | Складність інтеграції         | Оптимізація ланцюгів, TCO зменшення [10] | Залежність від постачальника |

Джерело: власна розробка на основі [1], [8], [10].

Для оцінки ефективності впровадження логістичних інновацій на сервісному підприємстві можуть бути використані шаблони, які дозволяють кількісно та якісно оцінити варіанти (наприклад, IoT та AI) (див. табл. 1-3).

Таблиця 2

## Шаблон розрахунку ROI для впровадження інновації

| Параметр         | Формула                | Приклад для IoT<br>(у тис. дол.) | Приклад для AI (у<br>тис. дол.) |
|------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Інвестиції (I)   | Вартість впровадження  | 100                              | 80                              |
| Економія (S)     | Зниження витрат на рік | 20 (скорочення простоїв) [4]     | 15 (прогноз ремонтів) [8]       |
| ROI (%)          | $(S / I) \times 100$   | 20%                              | 18.75%                          |
| Період окупності | $I / S$ (роки)         | 5                                | 5.33                            |

Джерело: власна розробка на основі [1], [9].

Таблиця 3

## Шаблон матриці ризиків для інновації

| Ризик             | Ймовірність (низька/<br>середня/висока) | Вплив (низький/<br>середній/високий) | Заходи пом'якшення         |
|-------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| Кібератака на IoT | Висока [1]                              | Високий                              | Шифрування, MFA [3]        |
| Брак даних для AI | Середня [8]                             | Середній                             | Збір історичних даних [9]  |
| Несумісність ERP  | Низька [10]                             | Середній                             | Тестування інтеграції [11] |

Джерело: власна розробка на основі [3], [8], [10].

Логістичні інновації, такі як IoT, AI та ERP, підвищують ефективність сервісних підприємств на 10–20% за рахунок прогнозування та оптимізації [1]. Кейсовий підхід з шаблонами оцінювання (SWOT, ROI, матриця ризиків) є ефективним інструментом для пілотування проєктів, який дозволяє аналізувати варіанти впровадження. Перспективним є інтеграція з зеленими технологіями для стійкості [12]. Також кейси рекомендується використовувати в навчальному процесі для розвитку практичних навичок майбутніх спеціалістів.

## Список використаних джерел

1. McKinsey & Company. IoT value set to accelerate through 2030: Where and how to capture it: [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/iot-value-set-to-accelerate-through-2030-where-and-how-to-capture-it>.
2. McKinsey & Company. (2024). Making green logistics services profitable. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/making-green-logistics-services-profitable>

3. CEMA. Digital Technologies in Agricultural Machinery Service: [електронний ресурс] // CEMA. Режим доступу: <https://www.cema-agri.org/publications>.

4. McKinsey & Company. Agriculture's connected future: How technology can yield new growth: [електронний ресурс] // McKinsey & Company. Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth>.

5. Harvard Business School. Case method teaching: [електронний ресурс] // Harvard Business School. Режим доступу: <https://www.hbs.edu/case-method>.

6. John Deere. AI and Predictive Maintenance in Precision Agriculture: [електронний ресурс] // John Deere. Режим доступу: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology>

7. Kyivstar Business Hub. M2M SIM-карти та їх призначення: [електронний ресурс] // Kyivstar Business Hub. Режим доступу: <https://hub.kyivstar.ua/en/articles/m2m-sim-karty-ta-yih-pryznachennya>. Дата звернення: 12.09.2025.

8. EOS Data Analytics. Сучасні технології в сільському господарстві і їх застосування: [електронний ресурс] // EOS Data Analytics. Режим доступу: <https://eos.com/uk/make-an-impact/agriculture/>. Дата звернення: 05.09.2025.

9. McKinsey & Company. Digital Transformation in Agriculture: [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/digital-transformation-in-agriculture>. Дата звернення: 12.09.2025.

10. Folio3 AgTech. ERP Software for Agriculture Farm Management: [електронний ресурс]. <https://agtech.folio3.com/erp-for-agriculture/>.

11. ELIAN. How to increase efficiency in Agriculture with ERP Systems: [електронний ресурс] // ELIAN. Режим доступу: <https://www.elian-solutions.com/how-to-increase-efficiency-in-agriculture-with-erp-systems/>.

12. European Commission. Sustainable and Smart Mobility Strategy: [електронний ресурс]. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=5e601657-5b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=5e601657-5b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF).

УДК 629.115.5:629.113.004.5

## **СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ**

**В. М. СЬОМАКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Андрій НОВИЦЬКИЙ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для вантажних автомобілів модельного ряду MAN характерне впровадження комплексних підходів до підтримання високого рівня надійності

та безпеки гальмівних систем, включаючи: застосування інтегрованих електронних систем керування гальмами; підвищення термостійкості та зменшення інтенсивності зносу; регулярна діагностика гальмівних механізмів і пневматичних контурів; використання систем допоміжного гальмування; своєчасне технічне обслуговування згідно з регламентами. Ці стратегії охоплюють технічні, організаційні та експлуатаційні заходи, які спрямовані на запобігання відмовам у реальних умовах перевезень [1, 2].

Однією з ключових стратегій є застосування інтегрованих електронних систем керування гальмами, зокрема EBS (Electronic Braking System), ABS та ASR. Використання електронного керування дозволяє забезпечити оптимальний розподіл гальмівних зусиль між осями, скорочення часу реагування та стабільність гальмування на різних типах покриття. У поєднанні з дисковими гальмами передніх і задніх осей це забезпечує підвищений рівень ефективності та точності роботи системи.

Важливу роль відіграє стратегія підвищення термостійкості та зменшення інтенсивності зносу. Автомобілі MAN використовують вентильовані диски збільшеного ресурсу, високотемпературні фрикційні матеріали та оптимізовану конструкцію супортів, що дозволяє утримувати стабільний коефіцієнт тертя за умов тривалих навантажень. Використання оригінальних фрикційних накладок, рекомендованих виробником, знижує ймовірність утворення мікротріщин, перегрівання та втрати гальмівних властивостей.

Серед важливих експлуатаційних заходів визначальною є регулярна діагностика гальмівних механізмів і пневматичних контурів. Для автомобілів MAN це включає тестування працездатності компресора, осушувача повітря, модуляторів EBS, перевірку рівня тиску в контурах, оцінку стану шлангів та клапанів. Дотримання цих процедур дозволяє своєчасно виявити падіння тиску, витіки або затримку спрацювання гальмівних механізмів.

Окремою стратегією є використання систем допоміжного гальмування, таких як EVB (Exhaust Valve Brake) або ретардери, що значно розвантажують робочі гальма на тривалих спусках. Це забезпечує зменшення температурного навантаження на диски та накладки та продовжує ресурс гальмівної системи.

Підтримання працездатності також включає своєчасне технічне обслуговування згідно з регламентами MAN. Використання цифрових сервісних інструментів, зокрема MAN-cats III, дає змогу проводити комп'ютерну діагностику системи EBS, налаштовувати параметри гальмівних модулів та усувати програмні збої. Дотримання встановлених інтервалів заміни гальмівних колодок, дисків і мастильних матеріалів для супортів забезпечує стабільну роботу гальмівних механізмів.

Важливим напрямом є контроль реальних параметрів гальмування під час експлуатації. MAN упроваджує системи дистанційного моніторингу, які передають інформацію про знос накладок, температуру дисків, тиск у пневмосистемі та частоту спрацювань гальм. Це дозволяє автопаркам планувати ТО на підставі фактичного стану, а не лише пробігу, що значно підвищує безпеку та запобігає раптовим відмовам.

Таким чином, комплексна реалізація технічних і організаційних стратегій забезпечення працездатності гальмівних систем вантажних автомобілів MAN сприяє зменшенню зносу, підвищує ефективність гальмування та мінімізує ризики аварійних ситуацій під час експлуатації. Впровадження електронних систем керування, допоміжних гальмівних механізмів, телематики та регламентного обслуговування формує високий рівень надійності, що є критично важливим у сфері інтенсивних вантажних перевезень [3].

Перспективним напрямком забезпечення ефективності використання вантажних автомобілів є постійний моніторинг, оцінка та забезпечення показників їх надійності на основі удосконалення технологій забезпечення працездатності, підготовки фахівців сервісної служби та водіїв [4, 5].

#### **Список використаних джерел**

1. Zagurskiy, A. (2024). Technical overview of the main types, designs, and materials of brake pads for mobile agricultural machinery. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 20(4), 119–130. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2024.119>

2. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. (2016). Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків. Вип. 2. С. 223–231.

3. Shykhmat, A. (2024). *Agriculture vehicles predictive maintenance*. *ADVANCES IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS*. Vol. 9, No. 2. 134–139. <https://doi.org/10.23939/acps2024.02.134/>

4. Novitskiy A. V., Kharkovskiy I. S., Novitskiy Yu. A. (2021). Monitoring the technical condition of agricultural machinery for guideline materials for its operation. *Machinery and Energetics*. 12(4), pp. 85–93.

5. Новицький А. В., Бистрий О. М., Ружи́ло З. В., Банний О. О., Сиволапов В. А. (2023). Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.

УДК 629.113.004.5:658.512.2

### **ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПУНКТУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**М. В. ЮРЧУК**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Андрій НОВИЦЬКИЙ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Розроблення структурно-логічної схеми пункту технічного обслуговування (ТО) зумовлене необхідністю забезпечення високої

ефективності, технологічної узгодженості та раціональної організації виробничих процесів в системі технічного сервісу транспортних засобів. У сучасних умовах експлуатації автотранспортних підприємств виникає комплекс факторів, які формують потребу в аналітичному підході до побудови внутрішньої структури пункту технічного обслуговування та ремонтних підприємств [1, 2]. Своєчасне виявлення та запобігання несправностей транспортних засобів є ключовим підходом до зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт, а також оновлення та заміну обладнання та зниження витрат в аграрній сфері. Значні перспективи до прогнозування залишкового терміну експлуатації транспортних засобів відкриває використання телеметричних, технічних та геопросторових даних [3].

Основними передумовами створення структурно-логічної схеми пункту ТО автомобілів є: зростання інтенсивності використання транспортних засобів; ускладнення конструкцій сучасних автомобілів; необхідність оптимізації технологічного процесу ТО; потреба в підвищенні рівня безпеки робіт; впровадження удосконаленого ремонтно-технологічного обладнання; раціональне використання виробничих площ; потреба в стандартизації технологічних операцій ТО; забезпечення можливості подальшої модернізації пункту ТО; забезпечення інформаційної прозорості та керованості процесів ТО персоналом.

Розглянемо кілька передумов, які є визначальними в структурно-логічній схемі пункту ТО. Однією із складових є зростання інтенсивності використання транспортних засобів. Поясненням вказаної складової є збільшення транспортних потоків, скорочення міжсервісних інтервалів та більш динамічні режими експлуатації, які призводять до підвищеного навантаження на систему технічного сервісу підприємства. Пункти ТО повинні мати раціонально розподілені виробничі зони, здатні забезпечити безперервне приймання і обслуговування транспортних засобів.

Іншою важливою передумовою є ускладнення конструкцій сучасних автомобілів. В останні десятиліття транспортні засоби проходять оснащення: складними електронними системами; інтегрованими гальмівними, стабілізаційними та діагностичними комплексами; гідравлічними та електромеханічними модулями. Це потребує чіткої логічної структури розміщення обладнання, включаючи зони первинної та поглибленої діагностики, а також підбір спеціалізованих технологічних засобів.

Актуальною передумовою залишається необхідність оптимізації технологічного процесу ТО, адже відсутність логічно побудованої структури призводить до: нераціональних переміщень транспортних засобів; збільшення простоїв; зниження пропускної здатності пункту ТО; підвищення трудомісткості робіт. Структурно-логічна схема дозволяє узгодити маршрути руху автомобілів, забезпечити оптимальне навантаження на пости та мінімізувати витрати часу на допоміжні операції.

Також є необхідність в стандартизації технологічних операцій, яка дозволяє уніфікувати та стандартизувати технологічні процеси, зокрема: порядок виконання діагностичних і регламентних робіт; правила переміщення

транспортних засобів між робочими зонами; взаємозв'язки між робочими місцями; складськими приміщеннями та агрегатно-ремонтними дільницями. Особливе місце займає підпорядкування персоналу логіці технологічного потоку ТО. Структурно-логічна схема відіграє роль базового документа, на основі якого модернізуються технологічні процеси, здійснюється переобладнання виробничих зон, інтегруються нові діагностичні комплекси, впроваджуються сучасні автоматизовані системи обліку та контролю. Реалізація структурно-логічної схеми пункту ТО підвищує надійність обладнання та ефективність управління підприємством технічного сервісу [4]. Широкі перспективи подальшому використанню та удосконаленню структурно-логічної схеми пункту ТО відкриває телеметрія транспортних та транспортно-технологічних машин, яка дає можливість діагностувати обладнання, що застосовується в аграрній галузі, сприяє еволюції сільськогосподарської техніки до нового рівня, який називається сільське господарство 4.0.

#### Список використаних джерел

1. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. (2016). Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. Вип. 2. С. 223–231.
2. Novitskiy A. V., Kharkovskiy I. S., Novitskiy Yu. A. (2021). Monitoring the technical condition of agricultural machinery for guideline materials for its operation. *Machinery and Energetics*. 12(4), pp. 85–93.
3. Shykhmat, A. (2024). *Agriculture vehicles predictive maintenance*. *ADVANCES IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS*. Vol. 9, No. 2. 134–139. <https://doi.org/10.23939/acps2024.02.134/>
4. Новицький А.В., Бистрий О.М., Ружи́ло З.В., Банний О.О, Сиволапов В.А. (2023). Надійність машин та обладнання. Том 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання: навчальний посібник. Київ. НУБіП України. 213 с.

УДК 631.11:502.131.1:658.588

## ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ: ТЕХНІКО-СЕРВІСНИЙ АСПЕКТ

**О. В. КОВРАТОВСЬКИЙ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** к.е.н., доцент **Валентина МЕЛЬНИК**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Циркулярна економіка дедалі активніше розглядається як перспективний підхід до організації виробничих процесів, орієнтований на ощадливе

використання ресурсів, зменшення втрат та екологічного навантаження. В умовах України ця модель має особливе значення для аграрної сфери, яка забезпечує значну частку національного ВВП, але водночас супроводжується високими обсягами органічних і техногенних відходів, а також інтенсивним споживанням енергетичних та матеріальних ресурсів. Упровадження циркулярних підходів у виробництво та сервіс сільськогосподарської техніки дозволяє суттєво підвищити ефективність галузі.

На відміну від традиційної лінійної моделі розвитку («виробили – використали – утилізували»), концепція замкненого циклу передбачає максимальне повернення ресурсів у виробничий процес. В аграрному секторі це означає удосконалення технологій технічного обслуговування, модернізацію машинно-тракторного парку та оптимізацію життєвого циклу техніки з метою збереження її функціональності протягом тривалішого часу. Такий підхід сприяє зниженню витрат, скороченню кількості відходів і створенню технологічно сталих виробничих систем.

Одним із визначальних принципів циркулярної економіки є екодизайн, який передбачає розроблення техніки з урахуванням її повного життєвого циклу: від виготовлення до утилізації або повторної переробки. Для українського аграрного виробництва це означає орієнтацію на енергоефективні агрегати, застосування матеріалів, придатних до повторного використання, і використання конструкцій, що дозволяють виконувати якісний ремонт і модернізацію машин. Прикладом упровадження принципів екодизайну є підприємства, що виробляють органо-мінеральні добрива або розробляють техніку з можливістю заміни окремих модулів без утворення значної кількості відходів.

Важливу роль у формуванні замкнених виробничих циклів відіграє технічний сервіс, адже саме він забезпечує ремонтування, відновлення функціональних властивостей і продовження строку служби сільськогосподарської техніки. Підприємства, які спеціалізуються на модернізації та відновленні машин (зокрема, центри сервісного обслуговування провідних брендів), реалізують на практиці принципи повторного використання, підвищуючи ефективність експлуатації техніки й зменшуючи потребу в її повній заміні. Розвиток сервісної інфраструктури дозволяє формувати замкнені ланцюги використання техніки, де ремонтування і регламентне обслуговування стають альтернативою ресурсомісткому виробництву нових агрегатів.

Іншим важливим напрямом циркулярної економіки є кооперація аграрних виробників для спільного використання технічних ресурсів та обміну технологічними рішеннями. Такі моделі знижують індивідуальні витрати господарств і сприяють раціональному використанню машинно-тракторного парку. Паралельно з цим широко поширюються технології переробки біомаси – від виробництва компосту до отримання біогазу. Подібні проекти формують альтернативні джерела енергії та забезпечують повторне використання органічних залишків.

Узагальнюючи, можна відзначити, що впровадження циркулярних підходів у поєднанні з розвитком сучасних систем технічного сервісу створює умови для підвищення ефективності аграрного виробництва України.

Оптимізація життєвого циклу техніки, розширення практик ремонтування та модернізації, кооперація в обміні ресурсами та активне використання біомаси дозволяють зменшити екологічні ризики, скоротити витрати і підвищити конкурентоспроможність агропромислового комплексу на світовому ринку.

#### Список використаних джерел

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
2. AgroHub. URL: <https://agrohub.ua>
3. Виробництво біодобрив в Україні. URL: <http://ecoplant.ua/>
4. Гнап А., Кабанов О., Присяжнюк М., Гринько А. Басиста Я., Міронова Н. Огляд сучасної політики ЄС у сфері низьковуглецевої та циркулярної економіки. URL: <https://tapas.org.ua/wp-content/uploads/2024/02/Lurydychnyj-zvit.pdf>
5. Ремонт та відновлення запчастин для сільськогосподарської техніки. URL: <https://task-agro.com.ua/>
6. Зелені практики, компостування, зелені ініціативи в країнах Європи URL: <https://zerowaste.org.ua/2023/06/22/kompostuvannya-v-krayinah-yevropy/>

УДК 621.50

## КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ПОБУДОВИ КЕРУВАННЯ МАЯТНИКОВИХ СИСТЕМ

**М. В. НАЗАРОВ**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Робототехнічні системи і комплекси  
сільськогосподарського виробництва»

**Науковий керівник:** д.т.н., професор **Юрій РОМАСЕВИЧ**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

На базі даних Scopus та Web of Science проведено кількісний аналіз науково-технічних документів (статей) за тематикою побудови керування маятникових систем. Для аналізу у зазначених базах даних використовувалися запити за такими фразами: "Inverted pendulum optimal control", "Inverted pendulum stability", "Inverted pendulum control", "Inverted pendulum". Ці запити допомагають встановити основні тенденції у використанні методів керування для оберненого маятника. Дані були зібрані на дату запиту – 8 жовтня 2025 року. При роботі з наукометричною базою даних Scopus запити виконувалися за назвою статті, коротким описом та ключовими словами. Всі отримані дані занесено до таблиць 1-2.

Якщо брати загальну інформацію по фразам, які використовувались для запитів на ресурсах Scopus та Web of Science, можна прийти висновку, що дана тематика зберігає актуальність та тенденцію цікавості серед дослідників, які знаходять йому все більше застосувань. За даними, які були отримані в ході

аналітики публікацій, маємо висновок що тематика є цікава і актуальна для досліджування її і по сьогоднішній день.

Таблиця 1

Кількість публікацій за темою дослідження у наукометричній базі даних Scopus

| Рік   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Всього<br>в базі |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| 2025  | 2024 | 2023 | 2022 | 2021 | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 |                  |
| Запит за фразою “Inverted pendulum optimal control” |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 108   | 104  | 92   | 71   | 77   | 78   | 68   | 74   | 61   | 68   | 42   | 1643             |
| Запит за фразою “Inverted pendulum stability”       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 187   | 197  | 178  | 157  | 147  | 156  | 157  | 181  | 141  | 128  | 108  | 3621             |
| Запит за фразою “Inverted pendulum control”         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 426   | 437  | 417  | 435  | 412  | 416  | 414  | 462  | 398  | 353  | 369  | 8954             |
| Запит за фразою “Inverted pendulum”                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 495   | 524  | 511  | 537  | 523  | 524  | 526  | 586  | 487  | 451  | 453  | 11730            |

Таблиця 2

Кількість публікацій за темою дослідження у наукометричній базі даних WoS

| Рік   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Всього<br>в базі |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| 2025  | 2024 | 2023 | 2022 | 2021 | 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 | 2015 |                  |
| Запит за фразою “Inverted pendulum optimal control” |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 48  | 53   | 56   | 47   | 65   | 68   | 60   | 52   | 50   | 65   | 45   | 923              |
| Запит за фразою “Inverted pendulum stability”       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 127   | 136  | 124  | 147  | 151  | 156  | 156  | 166  | 156  | 136  | 126  | 2413             |
| Запит за фразою “Inverted pendulum control”         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 280   | 297  | 272  | 314  | 359  | 354  | 369  | 382  | 392  | 356  | 356  | 6436             |
| Запит за фразою “Inverted pendulum”                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |
| 354   | 370  | 325  | 383  | 427  | 428  | 429  | 466  | 456  | 432  | 414  | 7864             |

УДК 621.87

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ МАНІПУЛЯТОРА НА ТРАНСПОРТНОМУ ЗАСОБІ

**Є. В. БОРОВИК**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Робототехнічні системи і комплекси  
сільськогосподарського виробництва»

**Наукові керівники:** д.т.н., професор **Вячеслав ЛОВЕЙКІН**,  
к.т.н. **Іван КАДИКАЛО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Оптимізація режимів руху маніпуляторів на транспортних засобах є ключовою задачею сучасної інженерної науки, що безпосередньо впливає на

ефективність, безпеку та економічну доцільність вантажно-розвантажувальних операцій. Робота присвячена визначенню оптимального режиму пуску механізму повороту мобільного маніпулятора з метою мінімізації динамічних навантажень та підвищення енергоефективності. За критерій оптимізації прийнято мінімум середньоквадратичного значення рушійного моменту приводу. Даний метод дозволяє отримати кінематичні характеристики, які забезпечують плавний вихід на робочу швидкість з мінімальним ударним навантаженням на конструкцію.

Метою дослідження є знаходження закону зміни кутової координати повороту маніпулятора, що мінімізує інтегральний критерій якості, представлений як середньоквадратичне значення рушійного моменту протягом часу пуску:

$$M_{ck} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} M^2 dt}.$$

Тут  $t$  – час;  $t_1$  – тривалість процесу пуску механізму повороту маніпулятора. Для знаходження оптимального закону руху застосовано варіаційне числення. Умова мінімуму критерію призводить до рівняння Ейлера-Пуассона, яке має вигляд:

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{\varphi}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial \ddot{\varphi}} = 0.$$

Після диференціювання, підстановки та математичних перетворень маємо умову мінімуму критерію:

$$\varphi^{IV} - k^2 \ddot{\varphi} = 0.$$

Розв'язок цього рівняння, отримано через характеристичне рівняння та врахування крайових умов пуску: початкова та кінцева кутові координати та швидкості. Крайові умови руху мають вигляд:

$$t = 0, \varphi = 0, \dot{\varphi} = 0; \quad t = t_1, \varphi = \omega, \quad \dot{\varphi} = 0.$$

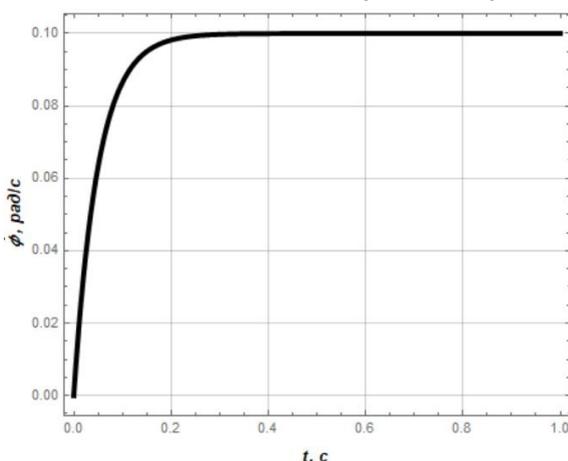


Рис. 1. Графік кутової швидкості механізму повороту маніпулятора

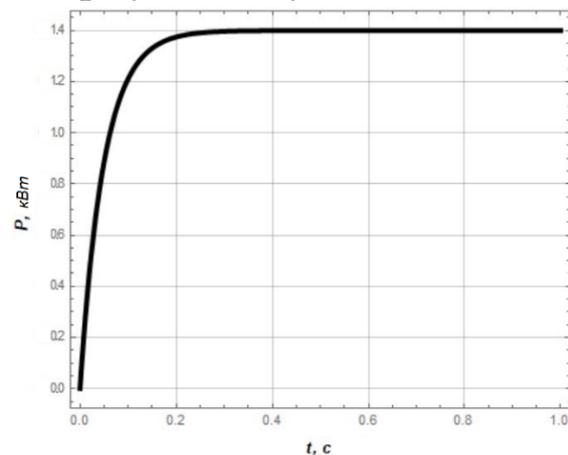


Рис. 2. Графік зміни потужності приводу механізму повороту маніпулятора

Для маніпулятора, з певними параметрами, а саме: виліт стріли – 6,3м; вантажопідйомність – 600 кг, поворотний кут 360 градусів, проведено

оптимізацію режиму пуску, результати, якої представлено у вигляді графічних залежностей. Побудовано графіки кінематичних та динамічних характеристик механізму повороту маніпулятора.

З рис. 1 можна бачити, що на відрізку часу протягом процесу пуску ( $t=1$  с), механізм повороту виходить на задану кутову швидкість  $0.10$  рад/с за час  $0.3$  с. Протягом цього часу швидкість змінюється за параболічним законом, а в подальшому вона приймає постійне значення.

З графіку на рис.2 видно, що на відрізку часу протягом  $t = 1$  с, механізм повороту маніпулятора виходить на усталену потужність  $1,4$  кВт за  $0.3$  с.

Визначений оптимальний режим пуску мінімізує динамічні навантаження на механізм повороту. Застосування цього режиму дозволяє зменшити середньоквадратичне значення моменту, що підвищує надійність та довговічність конструкції маніпулятора.

УДК 621.87

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

**Є. М. КАРПЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Наукові керівники:** д.т.н., професор **Вячеслав ЛОВЕЙКІН**,  
к.т.н., доцент **Анастасія ЛЯШКО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для проведення динамічного аналізу гвинтового конвеєра використано двомасову динамічну модель, де перша маса моделює приводний механізм, а друга маса – гвинтовий вал з зерновим матеріалом. На основі принципу динамічної рівноваги побудовано математичну модель гвинтового конвеєра, яка представляє собою систему диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} J_{п1} \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_{п1} - C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \\ J_{п2} \cdot \ddot{\varphi}_2 = -M_{п2} + C_n(\varphi_1 - \varphi_2) \end{cases} \quad (1)$$

Тут  $J_{п1}, J_{п2}$  – моменти інерції відповідно першої та другої зведених мас динамічної моделі конвеєра;  $M_{п1}, M_{п2}$  – зведені до осі пружної муфти відповідно рушійний момент приводу та момент сил опору, що діють на робочий орган гвинтового конвеєра, який взаємодіє із сипким середовищем (зерном);  $C_n$  – коефіцієнт жорсткості пружної муфти;  $\varphi_1, \varphi_2$  – узагальнені координати відповідно першої та другої зведених мас динамічної моделі.

Система рівнянь (1) є нелінійною системою диференціальних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами. В рівняннях (1) нелінійність отримана через нелінійність рушійного моменту приводного електродвигуна відносно кутової швидкості першої зведеної маси динамічної моделі, який

визначається за формулою Клосса. Розв'язувати систему рівнянь (1) аналітичними методами на даний момент неможливо, бо вона нелінійна, тому використаємо чисельні методи, які розроблені в програмному середовищі Wolfram Mathematica. В результаті розв'язування нелінійної системи диференціальних рівнянь (1) визначені узагальнені координати, швидкості та прискорення динамічної моделі гвинтового конвеєра. На їхній основі розраховані і побудовані графічні залежності кінематичних, силових та енергетичних характеристик гвинтового конвеєра при транспортуванні зерна.

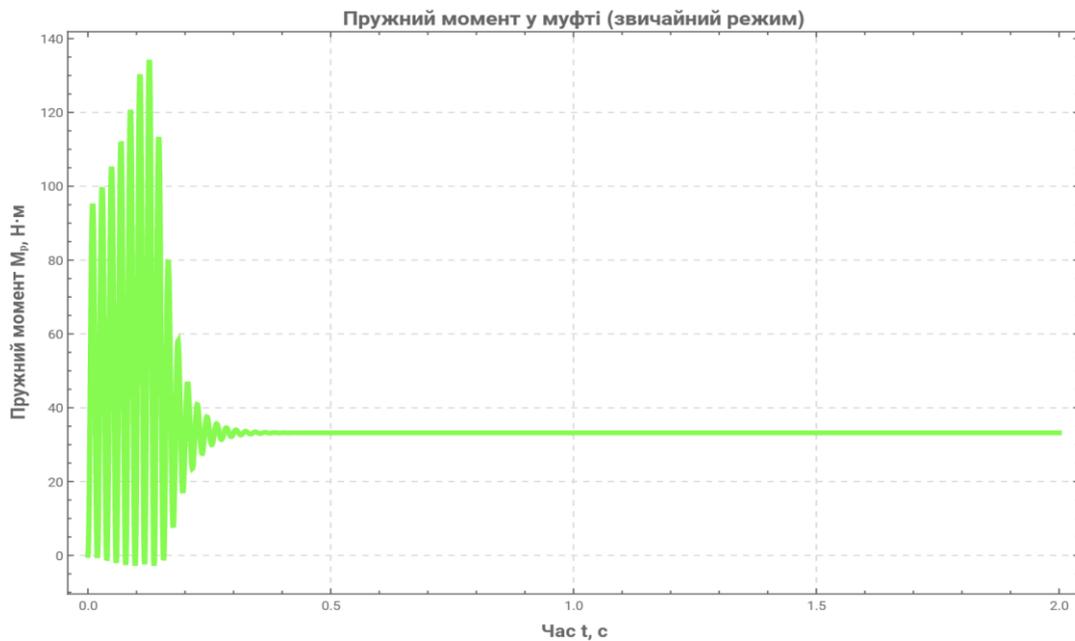


Рис.1. Графік зміни моменту в пружній муфті конвеєра

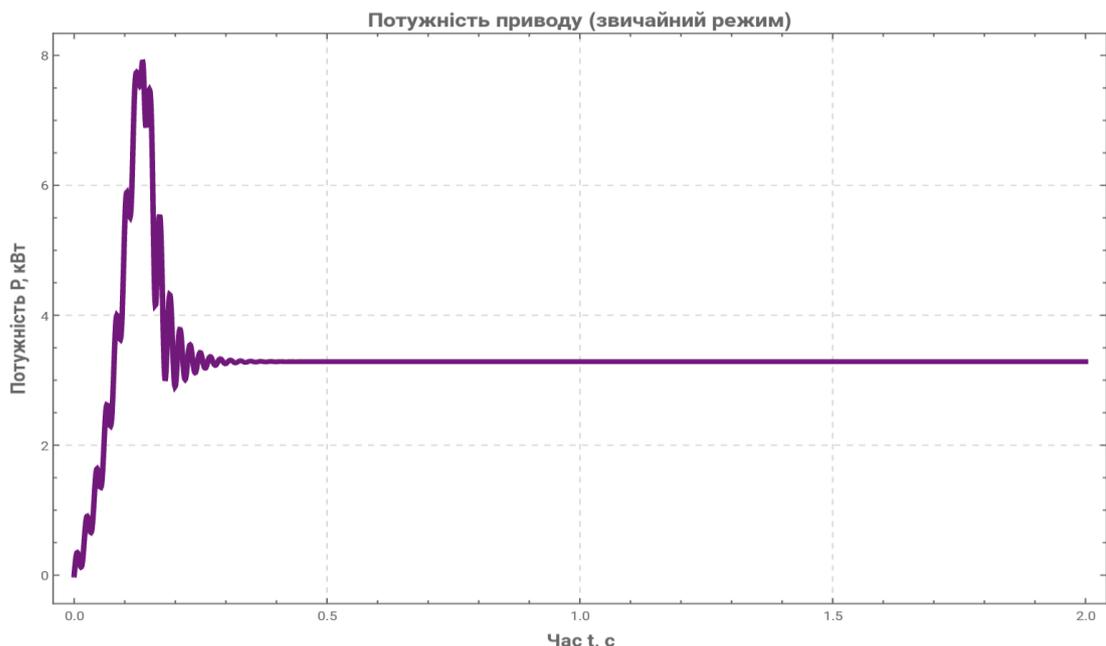


Рис. 2. Графік зміни потужності приводного електродвигуна конвеєра

На рис. 1 представлено графік зміни моменту в пружній муфті, а на рис.2 – графік зміни потужності приводного електродвигуна гвинтового конвеєра. В

пружній муфті приводного механізму гвинтового конвеєра (рис.1) спостерігаються високочастотні коливання моменту. Тут максимальне значення пружного моменту досягається на початку пуску і становить  $134 \text{ Н}^*\text{м}$ , що в 3,4 рази перевищує значення цього моменту на ділянці усталеного руху. Коливання пружного моменту в муфті затухають протягом процесу пуску, який триває біля 0,3 с руху. Судячи з рис.1, на ділянці усталеного руху коливання в пружній муфті відсутні.

Потужність приводного електродвигуна змінюється від нульового значення до максимального, яке становить 5,8 кВт, а потім до номінального, яке становить 3,2 кВт (рис.2). При цьому максимальне значення потужності електродвигуна в 1,8 рази перевищує його усталене значення. Тут також виникають високочастотні коливання потужності, але вони тривають лише протягом ділянки пуску. При цьому максимальне значення амплітуди коливань потужності має місце під час завершення процесу пуску.

УДК 621.87

## **ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПНЕВМАТИЧНОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА**

**Д. Г. ЛАВРІНЕНКО**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

**Наукові керівники:** д.т.н., професор **Вячеслав ЛОВЕЙКІН**,  
к.т.н., доцент **Анастасія ЛЯШКО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Під час роботи пневматичного конвеєра в елементах приводного механізму та транспортувальних трубах виникають значні динамічні навантаження, які приводять до зношення та руйнування пневматичного конвеєра, а також пошкодження насіння соняшника. Визначимо ці навантаження та проаналізуємо їхній характер зміни. Для проведення таких досліджень розроблено динамічну модель пневматичного конвеєра, яка представляє собою дві обертальні маси, що з'єднані пружним елементом. До першої маси такої моделі прикладений рушійний момент приводного механізму, а другої маси зведений до осі пружної муфти момент сил опору від транспортування насіння соняшника. На базі динамічної моделі складено математичну модель, яка представляє собою систему двох диференціальних рівнянь другого порядку. Розв'язок цієї системи рівнянь дав можливість визначити залежності узагальнених координат першої та другої мас та їхніх швидкостей та прискорень. Після чого визначено залежність моменту в пружному елементі, рушійний момент приводу та залежність зміни потужності приводу.

На рис. 1 представлено графік кутової швидкості ротора приводного електродвигуна, а на рис.2 – графік зміни моменту в пружній муфті приводу.

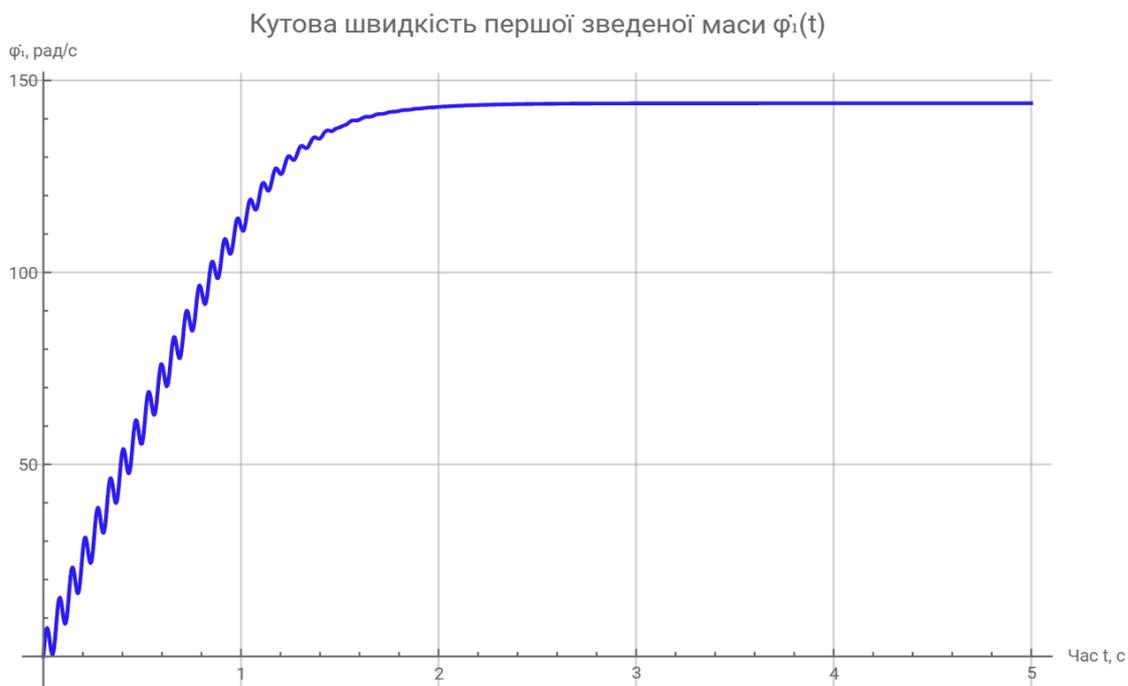


Рис. 1. Графік зміни кутової швидкості ротора приводного електродвигуна

З отриманого графіка видно, що протягом процесу пуску, який триває 2 с, кутова швидкість ротора електродвигуна набуває усталеного значення. При цьому спостерігаються високочастотні коливання швидкості ротора електродвигуна, які згасають ще до виходу на усталений режим руху. На ділянці усталеного руху швидкість електродвигуна набуває постійного значення і при цьому відсутні коливання швидкості.

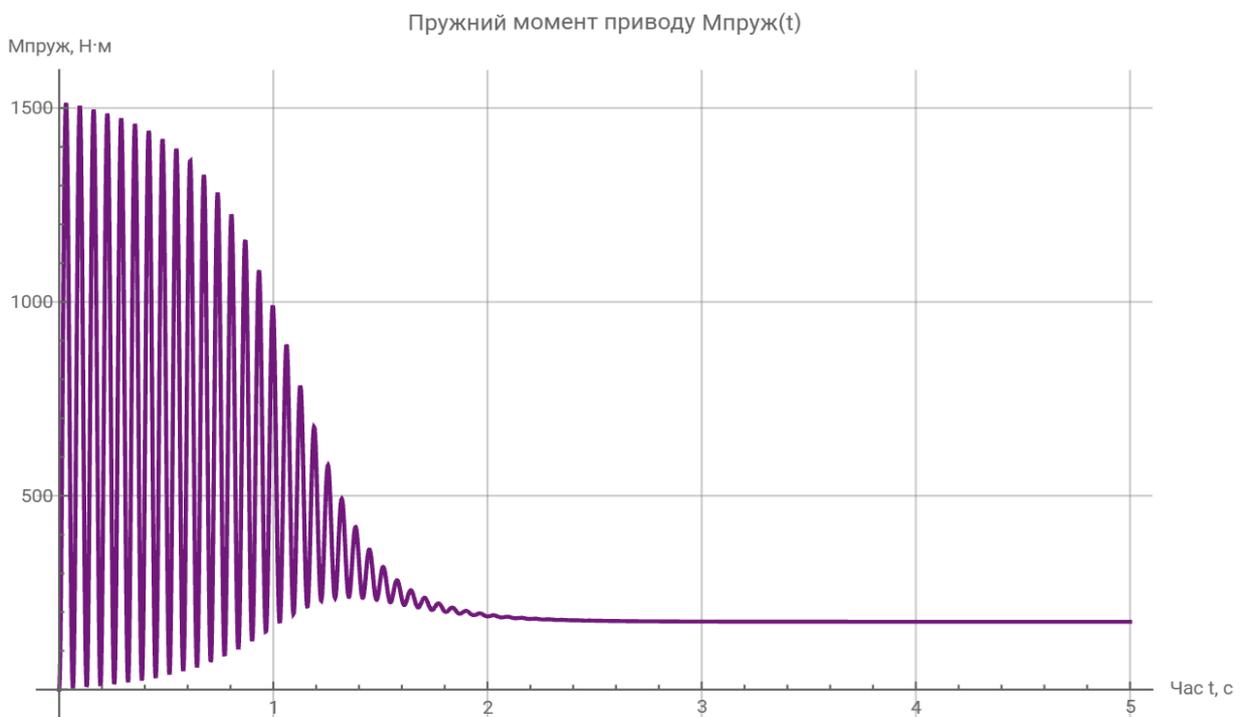


Рис. 2. Графік зміни моменту в пружній муфті приводу

З триманого графіка зміни пружного моменту приводу видно, що перехідний процес триває 2 с. В цей час спостерігаються високочастотні коливання зі значною амплітудою, які досить швидко затухають. В табл. 1 наведені максимальні значення кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик пневматичного конвеєра.

Таблиця 1

Максимальні значення характеристик приводу

| Параметр   | Максимальне значення | Одиниці виміру     |
|--|----------------------|--------------------|
| Кутова швидкість $\dot{\varphi}_1$               | 144.04               | рад/с              |
| Кутова швидкість $\dot{\varphi}_2$               | 144.04               | рад/с              |
| Кутове прискорення $\ddot{\varphi}_1$            | 629.78               | рад/с <sup>2</sup> |
| Кутове прискорення $\ddot{\varphi}_2$            | 283.50               | рад/с <sup>2</sup> |
| Пружний момент $M_{\text{пруж}}$                 | 1513.77              | Н·м                |
| Рушійний момент $M_{\text{руш}}$                 | 941.52               | Н·м                |
| Потужність $P$                                   | 79.58                | кВт                |
| Коефіцієнт динамічності приводу $K_{\text{дин}}$ | 8.295                | –                  |
| Перевантаження двигуна за потужністю             | 2.873                | –                  |
| Максимальна кутова деформація муфти              | 8.079                | град               |
| Перевантаження двигуна за моментом               | 5.159                | –                  |

З табл. 1 видно, що максимальне значення коефіцієнта динамічності досягає 8,3. Це вказує на те, що максимальні динамічні навантаження під час пуску конвеєра в 8,3 разів перевищують навантаження при усталеному режимі руху. Максимальні значення кутових прискорень відповідно першої та другої мас динамічної моделі під час пуску конвеєра досягають 630 рад/с<sup>2</sup> та 285 рад/с<sup>2</sup>.

УДК 621.87

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РУХУ ПРИВІДНОГО ЕЛЕМЕНТУ ЗАХВАТУ

**В. В. СТЕФАНІШИН**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Робототехнічні системи і комплекси  
сільськогосподарського виробництва»

Наукові керівники: д.т.н., професор **Вячеслав ЛОВЕЙКІН**,  
к.т.н. **Іван КАДИКАЛО**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Роботизовані маніпулятори з важливими захватними пристроями є невід'ємною частиною сучасної промисловості, логістики та складальних ліній,

забезпечуючи високу точність, швидкість і надійність виконання технологічних операцій. Робота присвячена визначенню оптимального закону руху приводної ланки механізму захвату мобільного маніпулятора, який виконує поступальний рух. Метою оптимізації є мінімізація динамічних навантажень та вібрацій шляхом зниження рушійного зусилля приводу. За критерій оптимальності обрано мінімум середньоквадратичного значення рушійної сили протягом часу пуску. В результаті застосування варіаційного числення отримано аналітичні залежності кінематичних характеристик, що забезпечують плавний та енергоефективний режим роботи.

Динамічна модель приводної ланки захвату представлена, як матеріальна точка масою  $m$ , що здійснює поступальний рух. Її динаміка описується диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{s} + n_2\dot{s} = F,$$

де  $m$  – маса приводної ланки захвату маніпулятора;  $n_2$  – коефіцієнт опору переміщенню приводної ланки;  $F$  – рушійне зусилля приводу приводної ланки приводу;  $s$  – лінійна координата приводної ланки захвату.

За критерій оптимізації візьмемо середньоквадратичне значення рушійної сили приводу:

$$F_{ck} = \left[ \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} F^2 dt \right]^{1/2} \rightarrow \min$$

Зробимо таке позначення для приводної ланки захватного пристрою

$$f = F^2 = (m\ddot{s} + n_2\dot{s})^2.$$

Тут  $t$  – час,  $t_1$  – тривалість руху приводної ланки захвату;  $m$  – маса приводної ланки;  $n$  – коефіцієнти опору руху при поступальному русі приводної ланки.

Умова мінімуму критерію є рівняння Ейлера-Пуассона. Для поступального руху приводної ланки це рівняння має такий вигляд

$$\frac{\partial f}{\partial s} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{s}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial \ddot{s}} = 0.$$

Після диференціювання, підстановки та математичних перетворень маємо умову мінімуму критерію:

$$s^{IV} - k^2 \ddot{s} = 0, \quad \text{де } k = n/m$$

Розв'язок цього рівняння, отримано через характеристичне рівняння та врахування крайових умов пуску:

$$t = 0, s = 0, \dot{s} = 0; t = t_1, \dot{s} = v, \ddot{s} = 0.$$

Тут  $v$  – усталена швидкість руху приводного елемента захватного пристрою маніпулятора

За результатами проведеної оптимізації побудовано графічні залежності оптимальних законів поступального руху приводного елемента захвату маніпулятора в програмі Mathematica, представлені графічні залежності кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик оптимального режиму пуску приводного елемента захвату маніпулятора

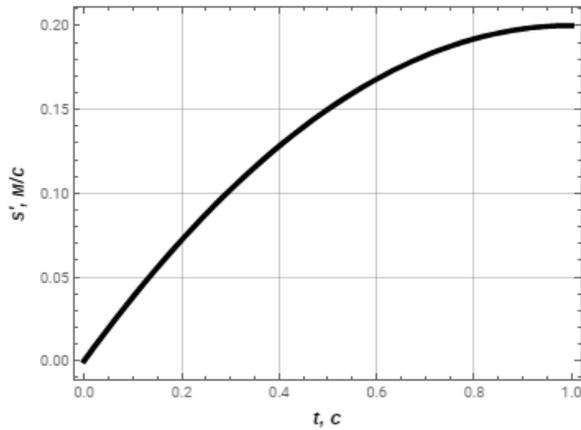


Рис. 1. Графік швидкості приводного елемента захвату

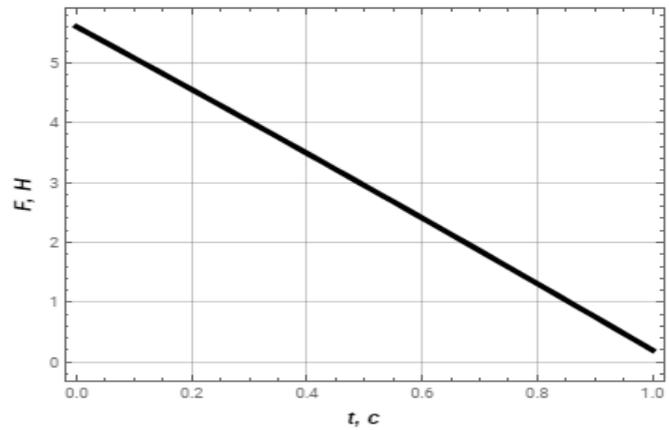


Рис. 2. Графік рушійного зусилля приводної ланки захвату

З рис. 1 видно плавну зміну швидкості протягом секунди і вихід на задану усталену швидкість 0,2 м/с в кінцевій точці. Швидкість змінюється за плавним законом, без різких стрибків.

З графіку на рис.2 можна бачити, що спочатку рушійне зусилля приводної ланки захвату приймає максимальне значення 5,6 Н та лінійно спадає до нуля у кінцевій точці. Такий характер підтверджує мінімізацію середньоквадратичного значення сили.

Розроблений оптимальний режим поступального руху механізму захвату, заснований на мінімумі середньоквадратичного рушійного зусилля, забезпечує:

- Плавний вихід на робочу швидкість без ривків.
- Мінімізацію пікового значення та середньоквадратичного значення рушійного зусилля, що позитивно впливає на надійність елементів приводу (особливо гідроциліндрів) та довговічність конструкції захватного пристрою.

*ТЕМАТИЧНА СЕКЦІЯ*  
*192 «Будівництво та цивільна інженерія»*  
*G 19 «Будівництво та цивільна інженерія»*

УДК 624.012.45

**ВИДИ РУЙНУВАННЯ КОНТАКТУ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ ПРИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВИСМИКУВАННЯ**

**Ольга КОЛОМІЄЦЬ<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»  
**Науковий керівник: к.т.н., доцент Євген ДМИТРЕНКО<sup>2</sup>**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*  
*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-o.kolomiets@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> dmytrenko\_yevhen@nubip.edu.ua*

Спільна робота арматури і бетону, забезпечена їхнім зчепленням, є фундаментальною умовою функціонування залізобетонних конструкцій, визначаючи їхню несучу здатність, жорсткість та тріщиностійкість. У разі порушення зчеплення, особливо через розколювання захисного шару, несуча та деформаційна здатності елементів суттєво знижуються. Міцність зчеплення залежить від великої кількості різнорідних факторів, включаючи характеристики матеріалів, геометричні параметри анкерування та зовнішні впливи [4].

Дослідження взаємодії арматури з бетоном, зокрема її локальної залежності «напруження зчеплення – проковзування»  $\tau_{\text{bond}} - \delta$ , є надзвичайно актуальною проблемою. Точне визначення цієї залежності має вирішальне значення для адекватного розрахунку ширини розкриття тріщин та моделювання напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій в умовах нелінійного деформування [6]. Неоднозначність підходів до опису цієї проблеми та відсутність єдиної теоретично обґрунтованої методики, а також потреба у критичній оцінці залишкової несучої здатності пошкоджених конструкцій вимагають подальшого вивчення механізмів руйнування [2].

Експериментальні дослідження (рис. 1), особливо випробування на висмикування (pull-out test) [1], є фундаментальною основою, яка забезпечує достовірність математичного моделювання та отриманих даних, необхідних для калібрування чисельних моделей [3]. Сутність даного методу полягає у витягуванні арматурного стержня, заанкерованого у бетонному блоці (призмі). Арматура при цьому піддається розтягу, а бетон навколо неї перебуває у стиснутому стані (рис. 1).

Основні дослідні зразки зазвичай виготовляються у вигляді бетонних призм квадратного перерізу, у центрі якого розташовується одиночний арматурний стержень. Геометричні параметри варіюються, включаючи довжину анкерування  $l_b$  та діаметр стержня  $d$ . Стержень закріплюється у захватах

гідравлічного преса (або розривної машини), а зусилля витягування подаються ступенями. Для вільного кінця стержня вимірюються його переміщення (проковзування) відносно торця бетонної призми за допомогою механічних індикаторів часового типу (ІЧТ), наприклад, ІЧ-10 [4].

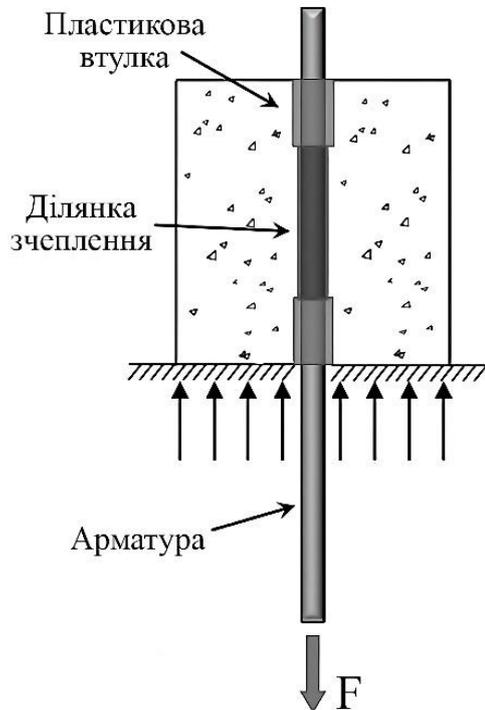


Рис. 1 Схема випробування зчеплення арматури з бетоном на висмикування [1]

За граничний стан зчеплення часто приймають досягнення зусилля  $F_u$ , при якому зміщення вільного кінця стержня відносно торця призми досягає певного граничного значення, наприклад  $\delta_u = 0,1$  мм, або ж відбувається руйнування призми. Максимальні середні по довжині напруження зчеплення  $\tau_m$  визначаються за (1):

$$\tau_m = \frac{F_u}{\pi \cdot d_s \cdot l_b} \quad (1)$$

Характер руйнування зразків при випробуванні на висмикування суттєво залежить від довжини анкерування, умов обмеження, які визначаються товщиною захисного шару бетону  $s$  (або його відношенням до діаметру арматурного стержня  $s/d$ ) та/або наявністю поперечного армування (хомутів). Незалежно від умов, у всіх зразках у процесі навантаження розвивається поздовжня тріщина (паралельно стержню та приблизно перпендикулярно до бетонної поверхні), відома як тріщина розколювання (splitting crack) [4].

Спостерігаються три основні види руйнування [2, 4–6].

1. Руйнування типу висмикування (Pull-out Failure). Це руйнування, при якому відбувається зріз бетону над ребрами арматури. Виникає в умовах гарного (достатнього) обмеження, наприклад, за рахунок великого захисного шару бетону (наприклад, коли  $s \geq 5 \cdot d$ ), або за рахунок інтенсивного поперечного

армування (хомутів). Вважається відносно пластичним руйнуванням. Характеризується найвищим піковим напруженням зчеплення  $\tau_{b,max}$ . Постпікова частина кривої  $\tau_{bond-\delta}$  демонструє пластичний характер [4].

2. Руйнування типу розколювання (Splitting Failure). Це руйнування відбувається внаслідок дії радіальних розпиральних сил, генерованих ребрами арматури, коли міцність бетону на розтяг навколо стержня вичерпується. Виникає в умовах недостатнього обмеження. Це типово для зразків із малим захисним шаром (наприклад,  $c < 2.5 \cdot d$  до  $3.0 \cdot d$ ) або при відсутності поперечного армування [2]. По характеру руйнування являє собою крихке руйнування, що супроводжується різким падінням напружень зчеплення одразу після досягнення пікових значень. При  $c=1\emptyset$  руйнування часто відбувається через відколювання захисного шару (spalling failure) з поширенням поздовжніх тріщин уздовж стержня. Збільшення діаметра стержня при низькому захисному шарі підсилює крихкість [6].

3. Руйнування типу висмикування, спричинене розколом (Splitting-Induced Pull-out). Це комбінований або перехідний режим руйнування між крихким розколюванням та пластичним висмикуванням. Виникає в умовах часткового або помірного обмеження. Спостерігається у зразках, де товщина захисного шару помірна (наприклад,  $c = 3 \cdot d$  або  $c = 5 \cdot d$ ). Характеризується зниженням пікових напружень зчеплення порівняно з умовами повного обмеження, але має менш крихку постпікову реакцію, ніж чисте розколювання.

Також у ряді досліджень [2, 5] простежується додатковий вид руйнування, а саме руйнування арматури від розтягування (Rebar failure, або Rupture). Виникає, коли міцність зчеплення є вищою за міцність самого арматурного стержня. Також в даних умовах можливе виникнення текучості арматури, коли напруження в арматурі досягають межі плинності [6].

Таким чином, на основі проведеного аналізу видів та причин руйнування зв'язку зчеплення арматури з бетоном при експериментальних випробуваннях визначено, що основними чинниками, які впливають на їх виникнення, є умови обмеження бетонної матриці, які визначаються головним чином співвідношенням товщини захисного шару до діаметра стержня ( $c/d$ ) та/або наявністю поперечного армування чи поперечних напружень, довжина анкерування арматури. Додатковим чинником, який сприяє руйнуванню є погані умови бетонування (верхнє бетонування), які знижують міцність зчеплення та жорсткість кривої  $\tau_{bond} - \delta$  через утворення порожнин внаслідок пластичного осідання бетону.

#### Список використаних джерел

1. RILEM TC. RC 6 Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test. In: RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. 1983. P. 218–220. URL: [https://www.rilem.net/publication/publication/4?id\\_papier=4020](https://www.rilem.net/publication/publication/4?id_papier=4020).

2. Колчунов В.І., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Методика експериментальних досліджень зчеплення арматури з бетоном. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2016. Вип. 33. С. 162-177. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2016\\_33\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2016_33_24).

3. Колчунов В.І., Яковенко І. А., Дмитренко Є.А. Аналітична модель зчеплення і нелінійна податливість арматурних зв'язків при розкритті дискретних тріщин в залізобетонних конструкціях. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2016. Вип. 32. С. 183 – 196. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i32.58>

4. Corres, E. & Muttoni, A. (2024). Local bond-slip model based on mechanical considerations. *Engineering Structures*, 314, article number 1181190. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118190>.

5. Філіпчук С., Поляновська О. Дослідження опору витягання арматурних стержнів з бетонів різних класів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2019. Вип. 11. С. 132–139. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-1\(11\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-1(11)-16).

6. Lv X., Yu Z., Shan Z. Bond Stress-Slip Model for Rebar-Concrete Interface Under Monotonic and Cyclic Loading. *Structures*. 2021. Vol. 34. P. 498–506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.093>.

УДК 624.75 (075.8)

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПІДЛОГИ АНГАРУ ВІД ДІЙ ЗНАЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВЕЛИКОГАБАРИТНОЇ ТЕХНІКИ

**Андрій КОМАРОВ<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Євгеній БАКУЛІН<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> komaruk47@gmail.com; <sup>2</sup> bakulin\_evgeniy@nubip.edu.ua*

Для оцінки напружено-деформованого стану конструкції підлоги ангара використовується нормативна методика, адаптована до розрахунку і проектування твердих покриттів, склад конструктивних шарів, їхні фізико-механічні характеристики також застосовуються на підставі нормативних рекомендацій.

Для розрахунку і проектування твердих покриттів існують кілька методик, в основу яких покладені різні гіпотези про роботу ґрунту під навантаженням. З числа використовуваних гіпотез найбільше поширення одержали дві: гіпотези коефіцієнта постелі (Винклера) і гіпотеза лінійно деформованого півпростору.

Як математичну модель покриття підлоги ангара прийняті рівняння теорії пружності. Задача звужується чисельно методом кінцевих елементів (МКЕ). Такий підхід дозволяє оцінити напружено-деформований стан конструкції покриття і основи і, у разі потреби, реалізувати однобічні зв'язки між шарами і нелінійні моделі поведінки матеріалів.

Істотною особливістю розглянутої задачі є несприятливе (для чисельного рішення по МКЭ) співвідношення розмірів плит покриття і твердостей конструктивних матеріалів. Для рішення задачі розроблена спеціалізована методика.

В основу методики закладений принцип Сен-Венана, відповідно до якого область високих градієнтів напруг концентрується в околиці зони навантаження.

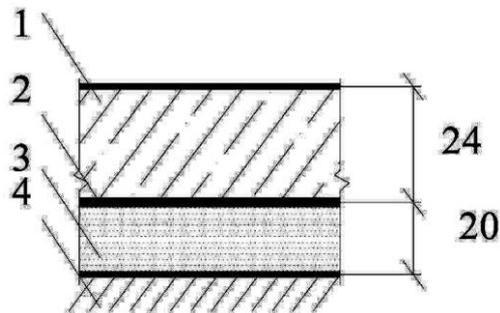


Рис. 1. Конструкція одношарового бетонного покриття: 1 – бетон шару проектних класів С40/45; 2 – розділовий прошарок; 3 – пісок великий; 4 – ґрунт природної основи

Постановка задачі дослідження:

1. Провести аналіз напружено-деформованого стану конструкції покриття підлоги ангару з урахуванням дії значних навантажень від великогабаритної техніки.

2. Проведення чисельних розрахунків для реалізації поставленої задачі.

Передбачаємо використання для шару покриття бетону проектних класів з розрахунковими характеристиками  $R_{btb} = 4,10 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 35300 \text{ МПа}$ . Штучна основа складається з піску товщиною 20 см.

Таблиця 1

Порівняння результатів підрахунку

| Згинальні моменти | Розрахунки  |           | %     |
|-------------------|-------------|-----------|-------|
|                   | нормативний | чисельний |       |
| $M_x$ , кН·м/м    | 21,58       | 19,11     | 11,45 |
| $M_y$ , кН·м/м    | 20,72       | 18,58     | 10,33 |

Висновки:

Проведений аналіз результатів розрахунків конструкції підлоги ангару:

1. Принципово можливо реалізовувати можливість розрахунку конструкцій покриттів чисельними методами.

2. Математична модель конструкції бетонного покриття при розрахунку чисельними методами дозволяє досить точно описати багатошарову конструкцію для проведення аналізу.

3. Результати розрахунку конструкції одношарового бетонного покриття показали принципово однаковий характер роботи конструкції, що ще раз дозволяє укласти можливість використання чисельного моделювання.

Результати розрахунку конструкції одношарового бетонного покриття підлоги ангару по нормативних методиках, незважаючи на використання коефіцієнтів надійності, спотворюють кількісну картину розподілу напруг і переміщень, особливо в місцях додатка навантаження.

#### Список використаних джерел

1. Yakovenko I., Dmytrenko Y., Bakulina V. (2022). 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*, pp. 107–120. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_10)

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. 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>

УДК 624.012.25

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АРМУВАННЯ ТА ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ТА АРМАТУРИ НА ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ

Аліна КОНДРАТЮК<sup>1</sup>, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

Науковий керівник: к.т.н., доцент Євген ДМИТРЕНКО<sup>2</sup>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-a.kondratiuk@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> dmytrenko\_yevhen@nubip.edu.ua*

Спільна робота арматури і бетону є фундаментальною умовою взаємної роботи цих двох матеріалів у залізобетонних конструкціях, забезпечуючи їхню несучу здатність, жорсткість та тріщиностійкість [4]. Надійність анкерування арматури залежить від їхнього зчеплення, яке, у свою чергу, визначається дуже великою кількістю різномірних факторів [1]. До цих факторів належать властивості матеріалів, геометричні параметри армування, технологія бетонування, умови навантаження та навколишнє середовище та ін.

Вивчення впливу геометричних параметрів армування та механічних характеристик бетону й арматури є вкрай необхідним для побудови раціональних, більш удосконалених залежностей (законів) зчеплення, які б відповідали фактичному напружено-деформованому стану (НДС) залізобетонних конструкцій [2]. Оскільки порушення зчеплення призводить до

значного зниження несучої та деформаційної здатності елементів, точне кількісне визначення впливу кожного з визначальних факторів є критично важливим для адекватного розрахунку та проектування.

Геометричні властивості арматурного стержня та його розташування у бетоні є одними з найбільш впливових параметрів на міцність зчеплення та механізм руйнування.

Діаметр арматури  $d_s$  чинить значний вплив на міцність зчеплення, що проявляється у так званому масштабному ефекті (size effect). Численні дослідження підтверджують, що зі збільшенням діаметра стержня середня міцність зчеплення знижується [5]. Наприклад, при зміні діаметра з 16 мм до 20 мм було зафіксовано зменшення міцності зчеплення на 18.43%. Цей ефект пов'язаний зі збільшенням площі поверхні контакту [3].

Периметр арматурного стержня  $\pi \cdot d_s$  використовується разом із довжиною анкерування  $l_b$  для визначення середнього максимального напруження зчеплення  $\tau_m$  на поверхні контакту з бетоном, відповідно до формули (1):

$$\tau_m = \frac{F_u}{\pi \cdot d_s \cdot l_b} \quad (1)$$

Тип поверхні арматури визначає основний механізм опору зчепленню.

Для гладких стержнів зчеплення формується переважно за рахунок хімічної адгезії та тертя. Їхня міцність зчеплення є низькою, часто не перевищує 30% від міцності зчеплення рифленої арматури [3]. Рифлені стержні забезпечують значно краще зчеплення, досягаючи у два-десять разів більшої міцності порівняно із гладкими стержнями. Це досягається завдяки механічному зачепленню ребер із навколишнім бетоном. Взаємодія ребер створює радіальні розпиральні сили, які можуть викликати розколювання захисного шару бетону (рис. 1).

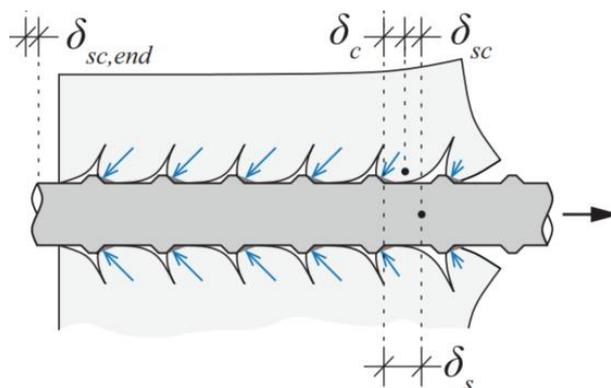


Рис. 1. Схема взаємодії арматури з бетоном при висмикуванні арматурного стержня із бетоної матриці [6]

Геометричні характеристики ребер ребристої арматури є вирішальним параметром. До них належать максимальна/середня висота ребра ( $h_{R,max}$ ,  $h_{R,avg}$ ), крок поперечних ребер ( $s_R$ ) та їхнє розташування [5].

Індекс Рема  $f_R$  часто визначається як відносна площа ребер, це кількісний показник профілю арматури, який впливає на поведінку зчеплення [3]. Зміна

геометрії ребер може суттєво змінювати взаємодію стержня з бетоном. Навіть орієнтація ребер (наприклад, під кутом  $45^0$  або перпендикулярно) щодо вільної поверхні бетону впливає на механізм взаємодії [6].

Міцність бетону є одним із найбільш значущих факторів, що впливає на міцність зчеплення [3]. Розрахунковий опір бетону на стиск  $f_{cd}$  або  $f_{cm}$  позитивно корелює з міцністю зчеплення. Між міцністю бетону на стиск та міцністю зчеплення встановлено нелінійну залежність. Хоча зі збільшенням класу бетону зчеплення збільшується, приріст може бути меншим для вищих класів [5]. Емпіричні дослідження пропонують, що міцність зчеплення пропорційна  $\sqrt{f_c}$ ,  $f_c^{1/4}$ ,  $f_c^{3/4}$  або  $f_c^{2/3}$  [3].

Міцність бетону на розтяг  $f_{ct}$  є функцією, що визначає опір бетонної оболонки радіальним розпиральним силам [2]. Вона є ключовою для забезпечення міцності зчеплення експериментальних зразків, руйнування яких часто пов'язане з розколюванням бетону.

Модуль пружності бетону  $E_c$  разом із модулем пружності арматури визначає жорсткість системи і деформаційну сумісність.  $E_c$  впливає на розвиток деформацій та напружень в елементах експериментальних зразків.

Розрахунковий опір робочої арматури на розтяг  $f_{yd}$ ,  $f_{yk}$  та тимчасовий опір  $f_{su}$  арматури є ключовими характеристиками. У разі короткої довжини анкерування або при використанні високоміцного бетону (наприклад, УНРС) міцність зчеплення може бути настільки високою, що руйнування відбувається через досягнення межі плинності арматури або її руйнування [3].

Таким чином, на основі проведеного аналізу впливу геометричних та фізичних параметрів на зчеплення арматури з бетоном слід зазначити, що:

Міцність зчеплення є складною функцією, яка зростає зі збільшенням класу бетону  $f_{cm}$ , причому для рифленої арматури домінує механічне зачеплення, але її середня величина зменшується зі збільшенням діаметра стержня  $d_s$ . Вирішальними геометричними параметрами, що визначають режим руйнування (крихке розколювання чи пластичне висмикування) та здатність чинити опір радіальним силам, є товщина захисного шару бетону ( $c/d_s$ ) та наявність поперечного армування.

### Список використаних джерел

1. Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Класифікація параметрів та пошук аналітичних залежностей зчеплення арматури з бетоном у залізобетонних конструкціях будівель та споруд. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання». Київ, Україна: НУБіП України, 2025. С. 533–536.

2. Mak W.T.M., Lees J.M. Bond Strength and Confinement in Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 355. No. 129012. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129012>.

3. Vembu P.R.S., Ammasi A.K. A Comprehensive Review on the Factors Affecting Bond Strength in Concrete. *Buildings*. 2023. Vol. 13, No. 3. No. 577. <https://doi.org/10.3390/buildings13030577>.

4. Dmytrenko Ye. A., Genzerskiy Yu. V., Yakovenko I. A., Bakulin Ye. A. (2023) 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 V., Markert B. (eds.) Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture. AIP Conference Proceedings 2678, 020006, Issue 1. <https://doi.org/10.1063/5.0118680>

5. Філіпчук С.В., Поляновська О.Є. Порівняльний аналіз досліджень зчеплення арматури з бетоном різними методами випробування. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2022, Вип. 41. С. 253–257. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i41.028>.

6. Corres, E., & Muttoni, A. (2023). Bond of Steel Reinforcement Based on Detailed Measurements: Results and Interpretations. *Structural Concrete*, 24, 7173–7204. <http://doi.org/10.1002/suco.202300324>.

7. Яковенко І.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України / І.А. Яковенко, Є.А. Бакулін // Зб. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України (24–25 лютого 2023 р., м. Київ). К. : НУБіП України, 2023. С. 488–491.

УДК 624.012.25

## **СУЧАСНІ МЕТОДИКИ МОНІТОРИНГУ ЗОНИ КОНТАКТУ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАННЯХ**

**Іван МИРОНЕНКО<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: к.т.н., старший викладач Микола УСЕНКО<sup>2</sup>**

***Національний університет біоресурсів і природокористування України***

*E-mail: <sup>1</sup>btsi24-i.myronenko@nubip.edu.ua; <sup>2</sup>usenko.m@nubip.edu.ua*

Взаємодія між арматурою та бетоном у залізобетонних конструкціях, відома як зчеплення, є визначальною для структурної поведінки залізобетонних конструкцій (ЗБ), впливаючи як на експлуатаційну придатність (обмеження тріщиноутворення та жорсткість), так і на граничний стан (несуча здатність та анкерування стержнів) [5]. Зчеплення є складним явищем, на яке впливає безліч параметрів, включаючи діаметр арматурного стержня, геометрію ребер, механічні властивості арматури та бетону, тип навантаження та наявність обмеження (поперечного тиску або захисного шару) та ін [2]. Точний моніторинг напружено-деформованого стану (НДС) зони контакту арматури з бетоном при проведенні експериментальних випробувань є необхідною передумовою для розробки більш точних механічних моделей зчеплення арматури з бетоном [1].

Традиційно для дослідження зчеплення арматури з бетоном використовувалися випробування на висмикування (pull-out), які є

стандартизованими та найбільш розповсюдженими [7]. Ці випробування визначають так звані локальні залежності «напруження зчеплення» від «проковзування» на основі глобальних вимірювань: середнього напруження зчеплення, розрахованого на основі прикладеного навантаження розтягу (по наближеним, інженерним формулам), та відносного зміщення на пасивному кінці стержня [6]. Однак екстраполяція цих залежностей на ЗБ конструкції із складнішими видами НДС є непрямомою, оскільки умови випробування на висмикування (т. зв. «арковий ефект» внаслідок напружень стиску та довжина анкерування) впливають на результати, а напруження зчеплення часто розподіляються нерівномірно [4].

Іншим класичним методом вимірювань у зоні зчеплення арматури з бетоном є використання тензодатчиків, які приклеювали до арматури або встановлювали всередині неї (у пазах) для визначення деформацій сталі, починаючи з 1950-х років. Хоча ці процедури дозволяють вимірювати напруження зчеплення, вони мають суттєві недоліки: вони можуть спотворювати поведінку арматури та поверхні її взаємодії із бетоном, є дорогими та трудомісткими, а також надають лише обмежену, дискретну інформацію про деформації уздовж стержня [3]. Крім того, ці вимірювання часто не підходять для експериментального дослідження розтягнутих елементів, оскільки розташування тріщин, як правило, невідоме заздалегідь. Тензодатчики здатні вимірювати деформації лише у певних точках (наприклад, з кроком 25–38,1 мм).

Протягом останнього десятиліття розподілене оптичне волоконне зондування (DFOS, також відоме як DOFS) та цифрова кореляція зображень (DIC) стали цінними інструментами, які потенційно можуть покращити розуміння механіки залізобетону, особливо, в зоні контакту арматур із бетоном [4], рис. 1.

DFOS (Distributed Fibre Optical Sensing) – це новаторський інструмент для моніторингу деформацій. Ця технологія дозволяє квазі-безперервно вимірювати деформації до 3–4% уздовж арматурних стержнів, на які закріплюються волоконно-оптичні датчики. DFOS забезпечує високу роздільну здатність (до 0,65 мм) та частоту вимірювання вище 1 Гц.

Самі волокна дуже тонкі (діаметр 125 мкм) [4]. Встановлення DFOS мінімально впливає на поведінку арматури, оскільки порушення профілю стержня мінімальне і не вимагає видалення його ребер. Для встановлення арматури в ній зазвичай вирізають поздовжні пази (наприклад,  $1 \times 1$  мм), куди приклеюють оптичне волокно [3].

На основі вимірних деформацій сталі  $\varepsilon_s$  уздовж арматурного стержня та використання діаграми сталі можна визначити епюру напружень у сталі  $\sigma_s$ , а після цього розподіл напружень зчеплення  $\tau_b$  із умови рівноваги. Проковзування арматури  $\delta$  розраховують шляхом інтегрування деформацій арматури відносно бетону. DIC (Digital Image Correlation) – це інноваційна, недорога безконтактна оптична техніка для вимірювання деформації та зміщення на поверхні. DIC працює шляхом порівняння цифрових фотографій експериментального зразка на різних стадіях деформації, відстежуючи плямистий (стохастичний) малюнок на його поверхні. DIC використовується для визначення картини та кінематики

тріщин на поверхні, доповнюючи детальні внутрішні дані, які надає DFOS (рис. 1) [4].

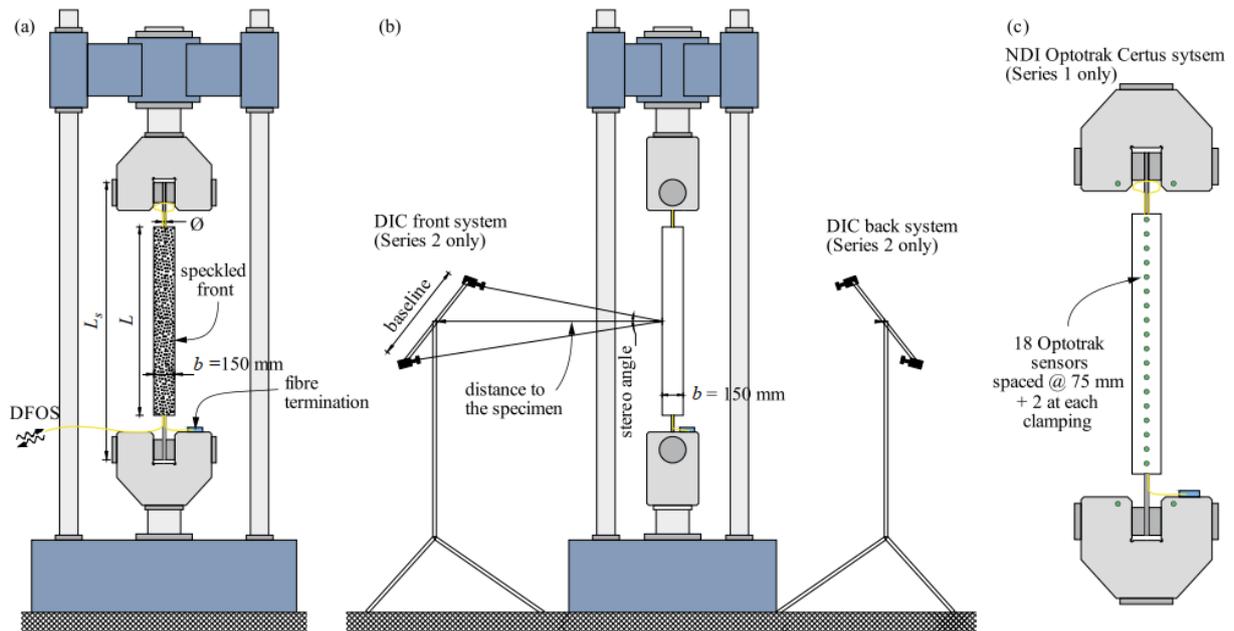


Рис. 1. Експериментальна установка із встановленим зразком:  
 а – фронтальний вигляд; б – псевдоаксонометричний боковий вигляд, включаючи системи вимірювання DIC (тільки серія 2) та DFOS;  
 с – система вимірювання Optotrak Certus виробництва NDI на задній частині зразка (тільки серія 1) [4]

Спільне використання DFOS та DIC у роботі [3] дозволило провести експериментальні дослідження на 21 розтягнутих ЗБ елементах, навантажених монотонним та циклічним осьовим розтягуючим навантаженням. DFOS дозволило отримати локальні розподіли напружень зчеплення. Було виявлено, що середні напруження зчеплення, отримані експериментально в пружному діапазоні, були нижчими, ніж ті, що пропонуються нормами проектування для перевірок експлуатаційної придатності (наприклад, пікові середні напруження зчеплення становили близько  $1.5 \cdot f_{ct}$ , тоді як норми передбачають  $1.8-2.0 \cdot f_{ct}$ ). Середні напруження зчеплення досягали свого піку при максимальній деформації сталі близько 2‰ для звичайної арматури.

Також результати показали, що середні пікові напруження зчеплення зменшувалися зі збільшенням діаметра арматури. Зі збільшенням діаметра арматури зразки ставали більш схильними до розколювання (splitting). Було підтверджено, що відносна площа ребер  $f_R$  є важливим фактором контролю тріщин, оскільки чим більша  $f_R$ , тим менша середня відстань між тріщинами. Однак збільшення ребер також сприяло розколюванню, що нівелювало потенційний позитивний ефект щодо зменшення ширини тріщин.

DFOS добре узгоджується з DIC; розташування тріщин, визначене за піками деформацій DFOS, як, правило, співпадає із тріщинами, виявленими DIC на поверхні [4].

Таким, чином, методики DFOS та DIC є потужними інструментами для експериментальних досліджень у галузі залізобетону, забезпечуючи високу точність та просторову роздільну здатність моніторингу деформацій та тріщин.

Висновок. Експериментальні дослідження, проведені за допомогою цих методик, дозволяють детально вивчити локальні механізми зчеплення, включаючи вплив діаметра арматури, циклічного навантаження та геометрії ребер. Було виявлено, що середні напруження зчеплення часто нижчі за типові значення, передбачені нормами проектування, що, ймовірно, пов'язано з відмінностями між умовами випробувань на висмикування (які використовувалися для калібрування норм) та умовами в розтягнутих елементах. Також підтверджується, що розколювання є ключовим фактором, що викликає деградацію зчеплення у пост-піковій фазі, причому розколювання провокується високими напруженнями розтягу бетону та великою відстанню між тріщинами. Незважаючи на значні переваги, для подальшого вдосконалення моделей зчеплення необхідні додаткові дослідження, особливо для надійного визначення напружень зчеплення з вимірювань DFOS у випадках циклічного навантаження, що включає пластичні деформації сталі.

#### Список використаних джерел

1. Corres, E., & Muttoni, A. (2024). Local bond-slip model based on mechanical considerations. *Engineering Structures*, 314, article number 1181190. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118190>
2. Ромашко О.В., Журавський В.М., Ромашко О.Д. Узагальнена модель зчеплення арматури з бетоном. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2019. Вип. 37. С. 214–221. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i37.319>
3. Galkovski, T., Mata-Falcón, J., & Kaufmann, W. (2023). Experimental Investigation of Bond and Crack Behaviour of Reinforced Concrete Ties Using Distributed Fibre Optical Sensing and Digital Image Correlation. *Engineering Structures*, 292, article number 116467. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116467>
4. Bado, M.F., Casas, J.R., & Kaklauskas, G. (2021). Distributed Sensing (DOFS) in Reinforced Concrete Members for Reinforcement Strain Monitoring, Crack Detection and Bond-Slip Calculation. *Engineering Structures*, 226, article number 111385, <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111385>.
5. Dmytrenko, Y., Usenko, M., & Yakovenko, I. (2024). Collisions of Strength Determination Modeling for Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Constructions with Small Eccentricities by Normal Sections in Lira-FEM Software. In: Z. Blikharsky & V. Zhelykh (Eds.), *Proceedings of EcoComfort 2024. EcoComfort 2024. Lecture Notes in Civil Engineering* (pp. 50-63). Cham: Springer, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_5).
6. Колчунов В.І., Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Методика експериментальних досліджень зчеплення арматури з бетоном. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2016. Вип. 33. С. 162-177. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2016\\_33\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2016_33_24).

7. RILEM TC. RC 6 Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test. In: RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. 1983. P. 218–220. [https://www.rilem.net/publication/publication/4?id\\_papier=4020](https://www.rilem.net/publication/publication/4?id_papier=4020).

УДК 624.156

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

**Богдан РИСАК<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник:** к.т.н., старший викладач **Микола УСЕНКО<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup>btsi24-b.rysak@nubip.edu.ua; <sup>2</sup>usenko.m@nubip.edu.ua*

Реконструкція цивільних будівель [1] є невід’ємною складовою сучасного будівництва і потребує пошуку раціональних та ефективних способів та застосування неординарних методів посилення існуючих будівельних конструкцій [2, 3 та ін.].

У роботі, із урахуванням досвіду проектування та реконструкції [1–5], розглянуті найбільш широко розповсюджені способи посилення існуючих фундаментів цивільних будівель та описані конструктивні особливості виконання таких принципів посилення.

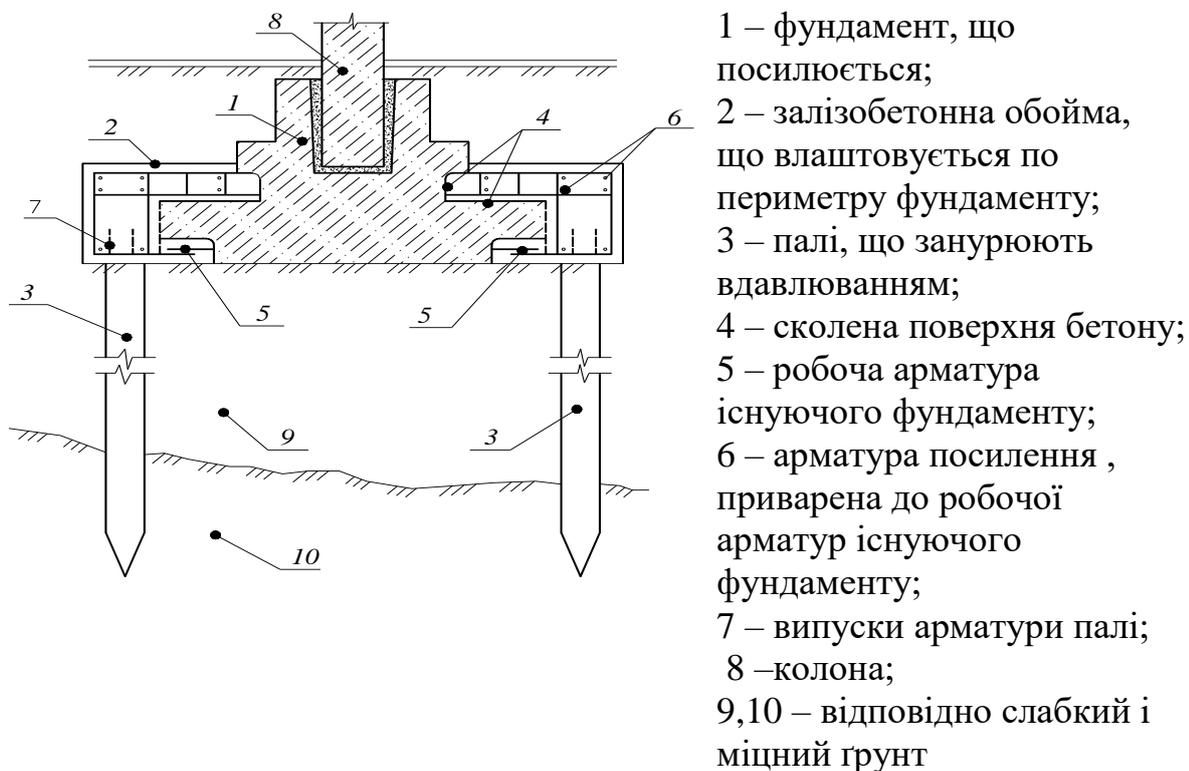
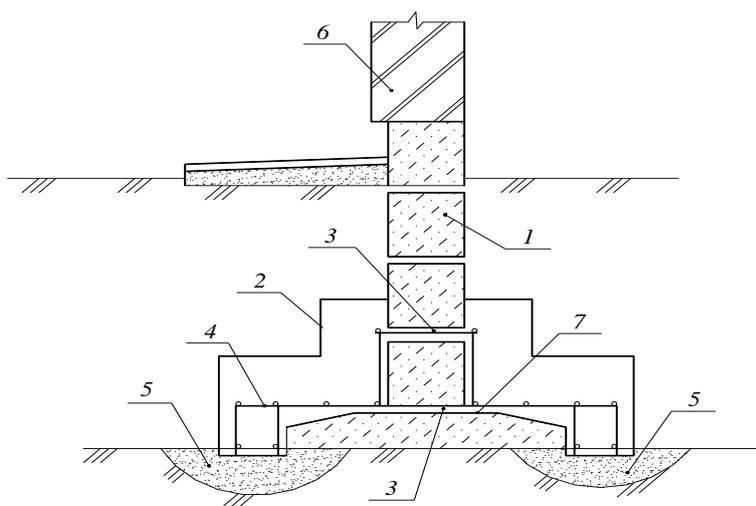


Рис. 1. Передача навантаження від фундаменту на залізобетонні палі, які занурюють вдавлюванням

Залізобетонні обойми задля посилення фундаментів застосовуються для збільшення або відновлення їхньої несучої здатності (рис. 2) з передачею навантаження, якщо виникає потреба, від колони на палі (рис. 1, 3) [4].

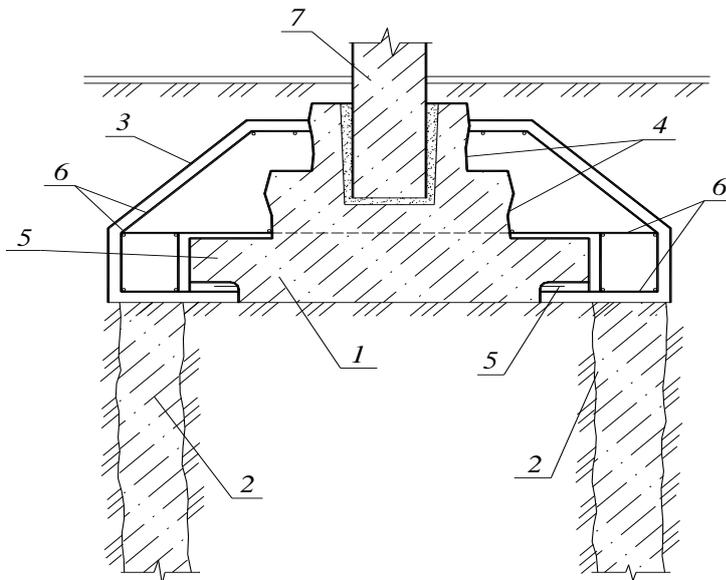
Залізобетонні сорочки застосовуються для посилення фундаментів і вузлів сполучення паль із ростверками. Улаштовуються вони поверх існуючих конструкцій й армуються замкнутою горизонтальною арматурою і перпендикулярними стержнями у вертикальних площинах. Робочою арматурою фундаментних сорочок є нижні горизонтальні стержні, які встановлюються з розрахунку. Звичайно фундаментні сорочки з'єднуються з обоймами підсилення колон; якщо ж останні не встановлюються, то під фундаментними сорочками влаштовуються обойми в межах нижньої частини колон на висоту не менше 1 м. Нарощування залізобетоном застосовується для посилення стрічкових і плитних фундаментів, а також для посилення вузлів сполучення паль із ростверками й перебудови стовпчастих фундаментів у стрічкові.

Одним з розповсюджених видів посилення є спосіб передачі навантаження на нижче розташовані шари ґрунту [4]. Він застосовується у випадках, коли міцний ґрунт розташований глибоко й здійснюється шляхом влаштування набивних паль із одночасним встановленням поперечних балок і рандбалок (рис. 1, 3). Набивні палі з литого бетону, виготовлені буренням і наступним бетонуванням, є найбільш придатними для підсилення несучої здатності існуючих фундаментів. Тут елементи підсилення розташовують поза контуром підшви існуючих фундаментів. Підшви фундаментів не оголюють, за винятком випадків, коли поперечні опорні балки проходять під підшвою фундаменту [3, 4]. При розрахунках, роботу ґрунту основи під підшвою існуючого фундаменту не враховують. Все навантаження повинно сприйматися тільки палями, що влаштовують. Необхідно також ураховувати те, що палі будуть давати деяку просадку.



- 1 – фундамент, що посилюється;
- 2 – залізобетонна обойма;
- 3 – отвори у швах між блоками для встановлення робочої арматури;
- 4 – основна робоча арматура підсилення;
- 5 – зони ущільненого ґрунту; 6 – цегляна кладка стіни;
- 7 – поверхня, підготовлена до бетонування

Рис. 2. Збільшення опорної площі влаштуванням залізобетонної обойми

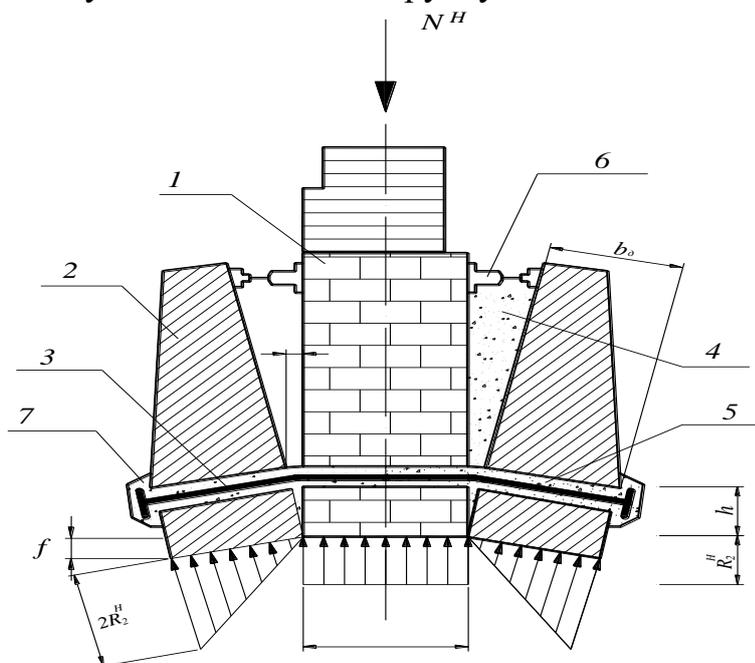


- 1 – посилюваний фундамент; 2 – буронабивні палі;
- 3 – залізобетонна обойма;
- 4 – поверхня фундаменту підготовлена до бетонування (насічка, зачищення);
- 5 – оголена робоча арматура існуючого фундаменту;
- 6 – арматура посилення (кріпиться на зварюванні до оголеної арматури посилюваного фундаменту);
- 7 – залізобетонна колона

Рис. 3. Передача навантаження від фундаменту на буронабивні палі

Щоб уникнути цього необхідне попереднє обтиснення кожної палі навантаженням, рівним тому, котре повинно припадати на палю від існуючої споруди, і витримка палі під цим навантаженням до повної стабілізації просадки. Обтиснення палей роблять гідравлічними домкратами, при цьому спостерігають по приладах за переміщеннями палей і фундаментів.

Основні особливості способу: збільшення навантаження на підшову фундаменту будинку (причому доцільно збільшувати навантаження в межах 50 – 100 %); влаштування підкопів під підшову не потрібно; необхідне обтиснення палей; при слабких ґрунтах у основі й високому рівні ґрунтових вод є залежність способу від властивостей ґрунту.



- 1 – існуючий фундамент;
- 2 – залізобетонні приставні елементи; 3 – анкер;
- 4 – шов, що розкрився, при розжатті елементів посилення (домкратами, клинами й ін.), заповнений бетоном;
- 5 – отвір для анкера, заповнений цементним розчином;
- 6 – домкрати (клини);
- 7 – цементний розчин

Рис. 4. Збільшення опорної площі фундаменту встановленням й закріпленням збірних залізобетонних елементів з обтисненням ними ґрунту основи:

У тих випадках, коли ущільнення ґрунту основи під новими ділянками фундаментів перед їхнім встановленням неможливо, застосовують метод посилення, який полягає в тому, що площа підосви фундаменту збільшується за рахунок встановлення по двох сторонах додаткових збірних залізобетонних елементів – блоків (рис. 4) [4]. Нижня частина блоків стягується між собою анкером з арматурної сталі. Потім верхні грані блоків віджимаються (важелями, забиванням клинів або домкратами) у різні сторони від фундаменту з одночасним заповненням трикутної щілини, що утворилася, дрібнозернистим бетоном. При цьому відбувається додатковий натяг арматур, збільшується площа підосви фундаменту й одночасно обжимається ґрунт основи.

Висновки. Розглянуті способи посилення фундаментів цивільних будівель потребують чіткого розуміння фактичного напружено-деформованого стану існуючих будівельних конструкцій та визначення їхнього технічного стану. Наведені способи посилення можна застосувати під час необхідності улаштування посилення фундаментів, яке викликано збільшенням навантаження за рахунок надбудови додаткових поверхів, просадкових ґрунтів, перерозподілу навантажень внаслідок зміни розрахункової схеми тощо.

#### Список використаних джерел

1. 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>

2. Клименко, Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд : навчальний посібник. К., 2004. 304 с.

3. Бабич, Є.М., Караван, В.В., Бабич, В.Є. Діагностика, паспортизація та відновлення будівель і інженерних споруд : підручник. Рівне : «Волинські береги», 2018. 176 с.

4. Яковенко, І.А., Бакулін, Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К. : НАУ, 2013. 50с.

5. Kaliukh I., Kosheleva N., Yakovenko I., Dzhahalov M., Kotlyar M. and Bashkurov G. Monitoring and mathematical modelling of the pit construction impact on the subway tunnels during reconstruction of the Postal Square // 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021, Volume 2021, p.1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2064>

УДК 725.826:624.04

## ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ПОКРИТТЯ СПОРУДИ СТАДІОНУ В М. УЖГОРОДІ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

**Максим МАЙСТРЕНКО<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: к.т.н., доцент Євген ДМИТРЕНКО<sup>2</sup>**

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

*E-mail:* <sup>1</sup> [btsi24-m.maistrenko@nubip.edu.ua](mailto:btsi24-m.maistrenko@nubip.edu.ua); <sup>2</sup> [dmytrenko\\_yevhen@nubip.edu.ua](mailto:dmytrenko_yevhen@nubip.edu.ua)

На сучасному етапі розвитку будівельної галузі України питання відновлення та модернізації спортивної інфраструктури набуває стратегічного значення. Більшість стадіонів районного та обласного значення, що експлуатуються десятиліттями без капітального ремонту, мають суттєві дефекти несучих елементів та не відповідають чинним нормативним вимогам щодо безпеки відвідувачів [5]. Відсутність покриття над трибунами значно обмежує функціональність споруд, роблячи проведення масових заходів залежним від погодних умов, та не відповідає сучасним стандартам комфорту [1].

Специфіка реконструкції об'єктів у м. Ужгороді ускладнюється інженерно-геологічними умовами, зокрема розташуванням території у зоні підвищеної сейсмічної активності (7 балів за шкалою MSK-64). Це вимагає від проєктувальників застосування підходів, спрямованих на зниження власної ваги конструкцій при збереженні їхньої жорсткості [4]. Врахування динамічних впливів стає визначальним фактором при виборі статичної схеми каркаса навісу, адже зменшення маси покриття прямо пропорційно знижує інерційні сейсмічні навантаження на фундаменти [2].

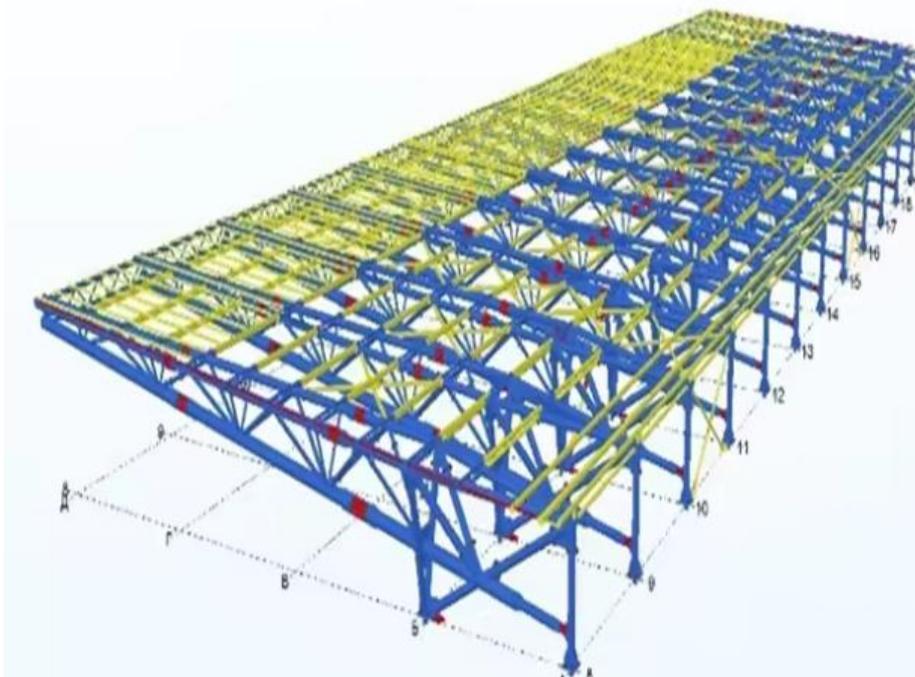


Рис. 1. Фрагмент конструктивної схеми ферм навісу стадіону

Проблема реконструкції громадських будівель спортивного призначення в умовах щільної забудови та сейсмічної активності вимагає пошуку інженерних рішень, що поєднують надійність, економічність та архітектурну виразність [3]. В рамках магістерської роботи розроблено проєкт реконструкції споруди стадіону в м. Ужгороді, що передбачає відновлення трибун та влаштування навісу.

Проаналізовано напружено-деформований стан (НДС) сталевого каркаса покриття за схемою однопролітної балки з консоллю на двох опорах (рис. 1).

Загальна довжина ферми складає 17,0 м. Конструктивна схема включає:

- анкерний проліт ( $L_1 = 6,0$  м): розташований між двома рядами колон, виконує функцію противаги, розвантажуючи основну опору;
- консольний виліт ( $L_2 = 11,0$  м): забезпечує повне перекриття глядацьких місць без встановлення проміжних колон, що погіршують оглядовість.

Для визначення оптимальної геометрії покриття виконано чисельне моделювання трьох типів ферм у програмному комплексі «Ліра САПР 2024». Встановлено, що для заданих умов (снігове навантаження 1340 Па, сейсмічність 7 балів) найбільш ефективною є трапецієвидна ферма змінного перерізу.

Максимальна будівельна висота ферми прийнята 1,8 м (над передньою опорною колоною), що відповідає епюрі згинальних моментів. Висота на вільному кінці зменшується до 0,6 м, що забезпечує необхідний ухил покрівлі для водовідведення.

Висновки. Результати дослідження показали:

→ використання схеми на двох колонах знижує горизонтальні реакції опор на 40% порівняно з консоллю на одній колоні, що суттєво підвищує сейсмостійкість каркаса.

→ змінна висота перерізу ферми дозволила знизити металоємність конструкції на 16% порівняно з фермами постійної висоти.

→ задня колона каркаса працює на знакозмінні навантаження (стиск/розтяг), що обумовило необхідність розрахунку анкерного фундаменту на зусилля виривання.

Отже, запропонована конструктивна схема є найбільш раціональною для умов реконструкції стадіону в м. Ужгороді, забезпечуючи довговічність споруди та безпеку глядачів.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.2.2-13:2003. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди. Київ : Мінбуд України, 2007. 124 с. ДБН В.2.2-13-2003 "Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди" №ДБН В.2.2-13-2003
2. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 110 с. ДБН В.1.1-12:2014 "Будівництво в сейсмічних районах України" №ДБН В.1.1-12:2014
3. Клименко Є. В., Косигін Є. О. Металеві конструкції : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 412 с. <https://reallib.org/reader?file=1337826>
4. Дмитренко Є.А., Андрієвська М.А., Яковенко І.А. Врахування сумісної роботи дисків покриттів зі збірного залізобетону у складі пролітних згинальних

металевих конструкцій. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини* : зб. наук. праць. Одеса : ОДАБА, 2024. Вип. 28. С. 128–139.

5. Бакулін, Є.А., Яковенко, І.А., Дмитренко, Є.А., Бакуліна, В.М. Результати аналізу причин руйнування сталевих ферм покриття конверторного цеху. Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (17–19 листопада, 2021 р., м. Харків). – Харків, УкрДУЗТ, 2021. С. 87–88.

УДК 624.014

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУЮВАННЯ СТАЛЕВОЇ ФЕРМИ ПОКРИТТЯ БУДІВЛІ ПТАХОФАБРИКИ

**Володимир ТУРОВСЬКИЙ<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»  
**Науковий керівник: д.т.н., професор Ігор ЯКОВЕНКО<sup>2</sup>**  
**Національний університет біоресурсів і природокористування України**  
*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-v.turovskyi@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> yakovenko\_i\_a@nubip.edu.ua*

Об'ємно-планувальні рішення передбачають зведення одноповерхової будівлі птахоферми з розмірами в осях 76,4×34 м і висотою до низу несучих конструкцій покриття 6,4 м. Будівля запроектована у сталевому каркасі [1]: колони сталеві по серії КЕ-01-49; ферми покриття сталеві, за сортаментом безшпренгельних ферм прольотом 24 м з поясами [2], виконаними зі низьколегованої сталі та решіткою зі сталі марки Ст3. Крок ферм покриття становить 6 м. Саме покриття виконується із профнастилу, покрівля – рулонна.

Розрахунок вузлів ферми. Проміжний вузол ферми прийнято з парних кутиків. Кутики і фасонки виконані зі сталі Ст245, кріплення виконується напівавтоматичним зварюванням електродами Е42.

Перевірка міцності стику. Стик пояса зміщений у панель з меншим зусиллям, при цьому величина зсуву така, що зусилля у розкосах не впливають на роботу стику.

Горизонтальні полки куточків пояса (γ - 110×7) перекриваються у стику двома накладками, вертикальні – фасонкою.

Переріз, що включається у розрахунок, визначаємо з умови його рівномірності з вертикальними полками  $A_{\phi} = 2 \times A_{\text{в.п.}} = 2 \cdot 11 \cdot 0,7 = 15,4 \text{ см}^2$ ; відповідна висота перерізу, що включається у розрахунок фасонки:

$$h_{\phi} = \frac{A_{\phi}}{t_{\phi}} = \frac{15,4}{1,4} = 11 \text{ см.}$$

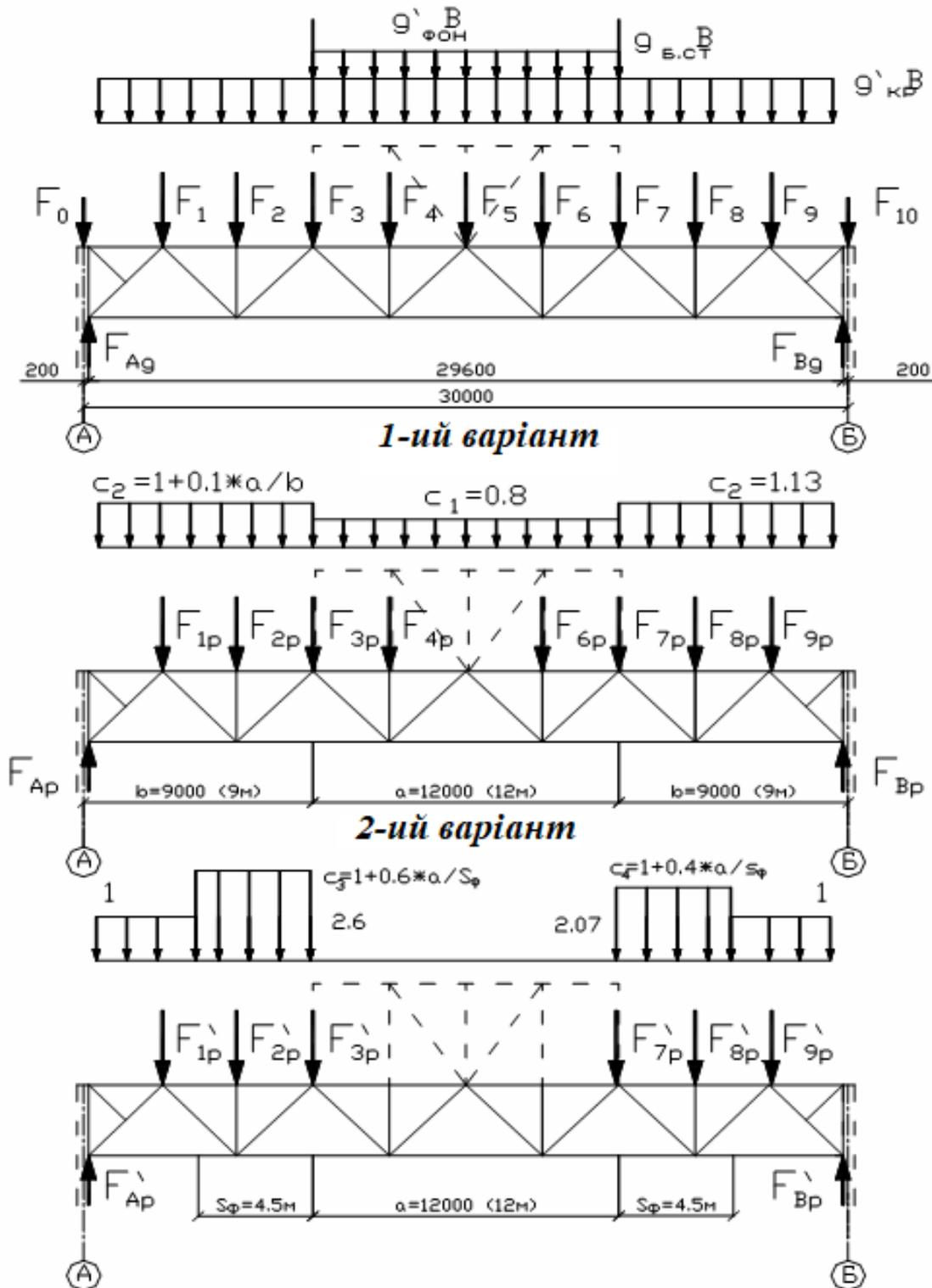


Рис. 1. Розрахункова схема до конструювання сталевї ферми покриття будівлі птахофабрики

Міцність стику перевіряється за припущенням дії центрального навантаження силою  $1,2 \cdot N_1$  (коефіцієнт 1,2 враховує умовність розрахункової схеми стику): 
$$\sigma = \frac{1,2 \cdot N}{2 \cdot A_H + A_{\phi}} = \frac{1,2 \cdot 331}{2 \cdot 9 + 15,4} = 11,89 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < f_y = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Результати розрахунків швів вузлів ферми покриття зведені до табл.1.

Таблиця 1.

Результати розрахунків швів вузлів ферми покриття

| № стрижня | Переріз   | N, кН | Шов по обушку |         |         | Шов по перу |         |         |
|-----------|-----------|-------|---------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
|           |           |       | $N_{об}$      | $k_{ш}$ | $l_{ш}$ | $N_{об}$    | $k_{ш}$ | $l_{ш}$ |
| 2-3       | 80×6      | 216   | 162           | 0,4     | 13      | 54          | 0,4     | 5       |
| 3-5,5-6   | 140×10    | 615   | 461           | 0,6     | 23      | 154         | 0,6     | 8       |
| 6-8,8-9   | 140×10    | 867   | 650           | 0,8     | 24      | 217         | 0,8     | 9       |
| 1-4       | 110×7     | 331   | 248           | 0,4     | 19      | 83          | 0,4     | 7       |
| 4-7       | 160×100×9 | 771   | 578           | 0,8     | 22      | 193         | 0,8     | 8       |
| 7-10      | 160×100×9 | 867   | 650           | 0,8     | 24      | 217         | 0,8     | 9       |
| 1-3       | 100×10    | 485   | 364           | 0,8     | 14      | 121         | 0,8     | 5       |
| 3-4       | 80×6      | 405   | 304           | 0,8     | 12      | 101         | 0,8     | 5       |
| 4-6       | 100×8     | 277   | 208           | 0,5     | 13      | 69          | 0,5     | 5       |
| 6-7       | 50×5      | 150   | 113           | 0,4     | 9       | 38          | 0,4     | 4       |
| 7-9       | 75×6      | 32    | 24            | 0,4     | 3       | 8           | 0,4     | 2       |
| 4-5       | 75×6      | 153   | 115           | 0,4     | 9       | 38          | 0,4     | 4       |
| 8-7       | 63×6      | 101   | 76            | 0,4     | 6       | 25          | 0,4     | 3       |

Висновок. У результаті виконаних чисельно-аналітичних розрахунків [3] запроєктована сталева ферма покриття прольотом 24 м будівлі птахофабрики, розрахунок якої виконаний за граничними станами першої та другої групи.

**Список використаних джерел**

1. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014. Зі зміною №1. – [Чинний від 2022-09-01]. – К. : Мінрегіон України, 2022. – 220 с.
2. Пічугін С.Ф. Курс лекцій із дисципліни «Металеві конструкції» для студентів підготовки бакалаврів спеціальності 0901 «Будівництво та цивільна інженерія». Частина 3 «Елементи сталевих каркасів ОБВ» – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – 67 с.
3. Дмитренко, Є.А., Андрієвська, М.А., Яковенко, І.А. Врахування сумісної роботи дисків покриттів зі збірного залізобетону у складі пролітних згинальних металевих конструкцій *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. 2024. Вип. № 28. С. 128–139. <https://doi.org/10.31650/2707-3068-2024-28-128-139>

УДК 699.86:317.11

## ПОШУК РАЦІОНАЛЬНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

**Яків ЩЕРБАК<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: д.т.н., професор Вячеслав МАРТИНОВ<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-ya.scherbak@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> arx.martynov@gmail.com*

Проектування «пасивного будинку» будівлі згідно з принципами системного аналізу може включати в себе **три** основні етапи [1]:

- побудову математичної моделі тепломасообмінних процесів в будівлі;
- вибір цільової функції, тобто граничних умов і формулювання оптимізаційної задачі залежно від цілі оптимізації;
- розв'язання поставленої оптимізаційної задачі.

Схема взаємодії функціонування елементів будинку, як енергетичної системи споживання електроенергії та теплової енергії, наведена на рис. 1. Основними чинниками, що впливають на формування теплового режиму і відповідного енергетичного класу будинку (питомого споживання енергії на опалення, охолодження та ГВП) здійснюють його інженерні системи. Від властивостей цієї енергетичної підсистеми залежить вибір параметрів підсистеми опалення, охолодження та ГВП [2].

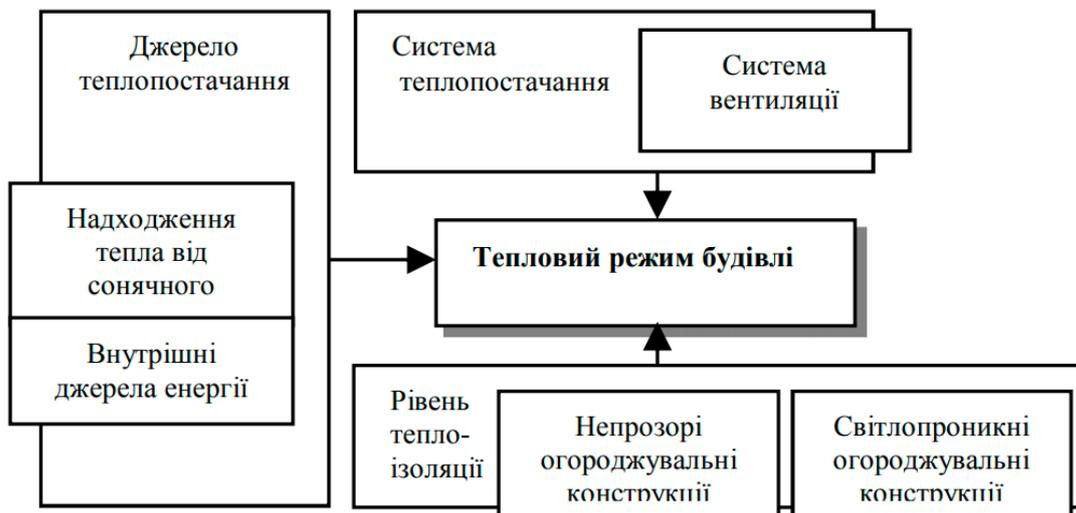


Рис. 1. Взаємодія підсистем будинку [1]

Процесу моделювання енергоспоживання будівлі передуює безпосередньо енергетичне обстеження, першим етапом якого є збір даних. Наведемо схему основних етапів та факторів, що передують моделюванню енергоспоживання будівлі. Вже після оцінки існуючого стану необхідно розробляти методи що будуть спрямовані на підвищення ефективності використання енергії [1, 2].

Для збільшення енергоефективності пасивного будинку застосовується ряд інженерних рішень, спрямованих на зменшення споживання зовнішньої енергії – геліоколектори для приготування гарячої води від енергії сонця так і теплові насоси, геотермальні вентиляційні установки, і на виробництво електроенергії – комплекти сонячних електростанцій, рис. 2.

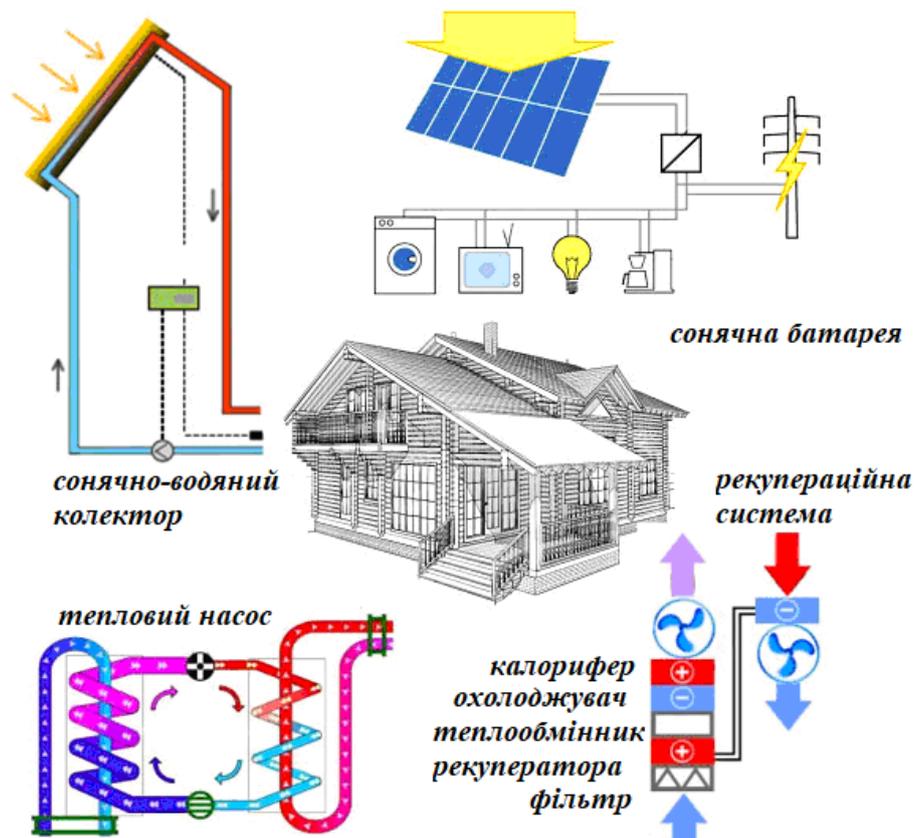


Рис. 2. Інженерні технології згідно «Концепції пасивний будинок» [1]

Геліоколектори, що дозволяють максимально використовувати сонячне випромінювання для нагрівання води, забезпечують пасивний будинок гарячим водопостачанням у весняно-літній-осінній період, а так само можуть підтримувати систему низькотемпературного опалення – тепла підлога, якою обладнано будинок [3].

Тепловий насос високоефективно використовує потенціал навколишнього середовища – повітря, землі, води, що має змогу отримати на виході з системи в три–чотири рази більше теплової енергії, ніж витрачається електричної енергії в традиційному вигляді. Максимальна ефективність теплового насосу досягається при спільній роботі з низькопотенційними системами опалення, такими як: фанкойли, теплою підлогою та теплими стінами.

Сонячні батареї і вітряні генератори, перетворюючи в електроенергію сонячне випромінювання і енергію вітру, дозволяють зробити пасивний будинок нульовим. А якщо їх продуктивність енергії вище споживання пасивного будинку, то і активним, при чому з набагато меншими встановленими потужностями, а значить, і вартістю системи, ніж знадобилося б звичайному будинку.

Застосування таких систем, як геліоколектори, тепловий насос, геотермальна рекуперація повітря, веде до відмови від традиційних способів опалення – радіаторів, батареї, котлів, камінів, дров'яних печей з їх низькою ефективністю [3].

У випадку, коли реалізація оптимального рішення неможлива з тих чи інших причин, запропоновано ввести показник, що характеризує ступінь відмінності реалізованого рішення від оптимального і є показником енергетичної ефективності проектного рішення. За визначенням:

$$h = \frac{BBE}{Q_{np}}, \quad (1)$$

де  $BBE$  – витрата вторинної енергії на створення необхідного мікроклімату в приміщеннях «пасивної будівлі»;

$Q_{np}$  – фактична витрата енергії на створення мікроклімату в приміщеннях будівлі, прийнятого до дослідження.

З урахуванням прийнятого поділу математичної моделі теплового режиму будинку, як єдиної теплоенергетичної системи на три взаємозалежних під моделі можна записати:

$$h = p_1 \times p_2 \times p_3, \quad (2)$$

де  $p_1$  – показник теплоенергетичної ефективності оптимального обліку впливу зовнішнього клімату на будівлю;

$p_2$  – показник теплоенергетичної ефективності оптимального вибору тепло- і сонцезахисних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій;

$p_3$  – показник теплоенергетичної ефективності оптимального вибору систем забезпечення мікроклімату.

**Висновок.** У кваліфікаційній роботі магістра розглядається третя складова, за допомогою якої можливо найраціональніше підвищити ефективність функціонування готельного комплексу будинку та наближення моделі споживання до «пасивних будинків».

### Список використаних джерел

1. Чичуліна К.В., Биба В.В., Міняйленко І.В., Скриль В.В. Потенціал енергоефективності України: перспективи співпраці з ЄС» для студентів спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність», 101 «Екологія», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» другого рівня вищої освіти : навч. посіб. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. 109 с.

2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145. Режим доступу: <http://search.ligazakon.ua>.

3. Мартинов В., Терещук М., Поляк Ю. Оптимізація параметрів геліоприймачів для енергоефективних будівель у післявоєнний період в Україні. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2023. №104. С. 111–118. <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2023.104.111-118>

УДК 515.2

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБОЛОНКИ ЗЕЛЕНИХ БУДИНКІВ ПРИ БЛОКОВАННІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ**

**Юрій ПОЛЯК<sup>1</sup>, Олег МАРТИНЮК<sup>2</sup>, Денис СТАДНІЙЧУК<sup>3</sup>, аспіранти;  
Станіслав СТАДНИК<sup>4</sup>, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»  
Науковий керівник: д.т.н., професор Вячеслав МАРТИНОВ<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,5</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
<sup>4,5</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
E-mail: <sup>1</sup>yura@teren-trade.com; <sup>2</sup>martynuk@ukr.net; <sup>3</sup>111222@ukr.net;  
<sup>4</sup>btsi24-s.stadnyk@nubip.edu.ua; <sup>5</sup>arx.martynov@gmail.com**

Актуальність даного дослідження зумовлена нагальною необхідністю кардинального скорочення енергоспоживання та вуглецевого сліду будівельного сектора, що є визначальним фактором для забезпечення екологічної стійкості та раціонального використання ресурсів. Перспективним напрямом для вирішення цієї задачі виступає інноваційна стратегія просторового блокування об'єктів, яка відкриває нові можливості для пасивного енергозбереження.

Для її практичної реалізації архітекторам потрібен інструмент для швидкого прогнозування енергоефективності будівель, що дозволить ще на препроєктній стадії закласти необхідні параметри. Найважливішим заходом у цьому контексті є мінімізація трансмісійних тепловтрат, яка досягається шляхом збільшення кількості суміжних (глухих) граней будівлі. Однак успішне впровадження цієї стратегії вимагає створення надійного розрахункового інструментарію, здатного точно кількісно оцінити та оптимізувати енергозберігаючий потенціал.

Мета дослідження. Розробка системи вагових коефіцієнтів та аналітичних залежностей для кількісної оцінки зменшення трансмісійних тепловтрат при блокуванні будівель з подальшим застосуванням отриманих результатів в архітектурному проектуванні для підвищення енергоефективності будівель.

Виклад основного матеріалу. У попередньому дослідженні [1] було закладено теоретичну основу, сформувавши структуру використання вагових коефіцієнтів для зменшення енерговитрат. Ключовим висновком цієї роботи є те, що зниження трансмісійних тепловтрат ( $Q_T$ ) можливе через оптимізацію геометричних параметрів будівель, що й стало підґрунтям для розробки відповідних практичних заходів.

Ваговий коефіцієнт  $K_{114}$  дає змогу точніше прогнозувати зменшення енергоспоживання, оптимізувати площу блокування, визначити ефективність енергетичної модернізації, розрахувати термін окупності енергозберігаючих заходів. Для розрахунку виведено аналітичні залежності.

Для будівель у вигляді куба (рис.1) за умови рівномірного теплофізичного опору огорожувальних конструкцій усіх граней було експериментально

визначено коефіцієнт  $K_{114}$ , який кількісно описує динаміку зміни трансмісійних тепловтрат за просторового блокування різної конфігурації.

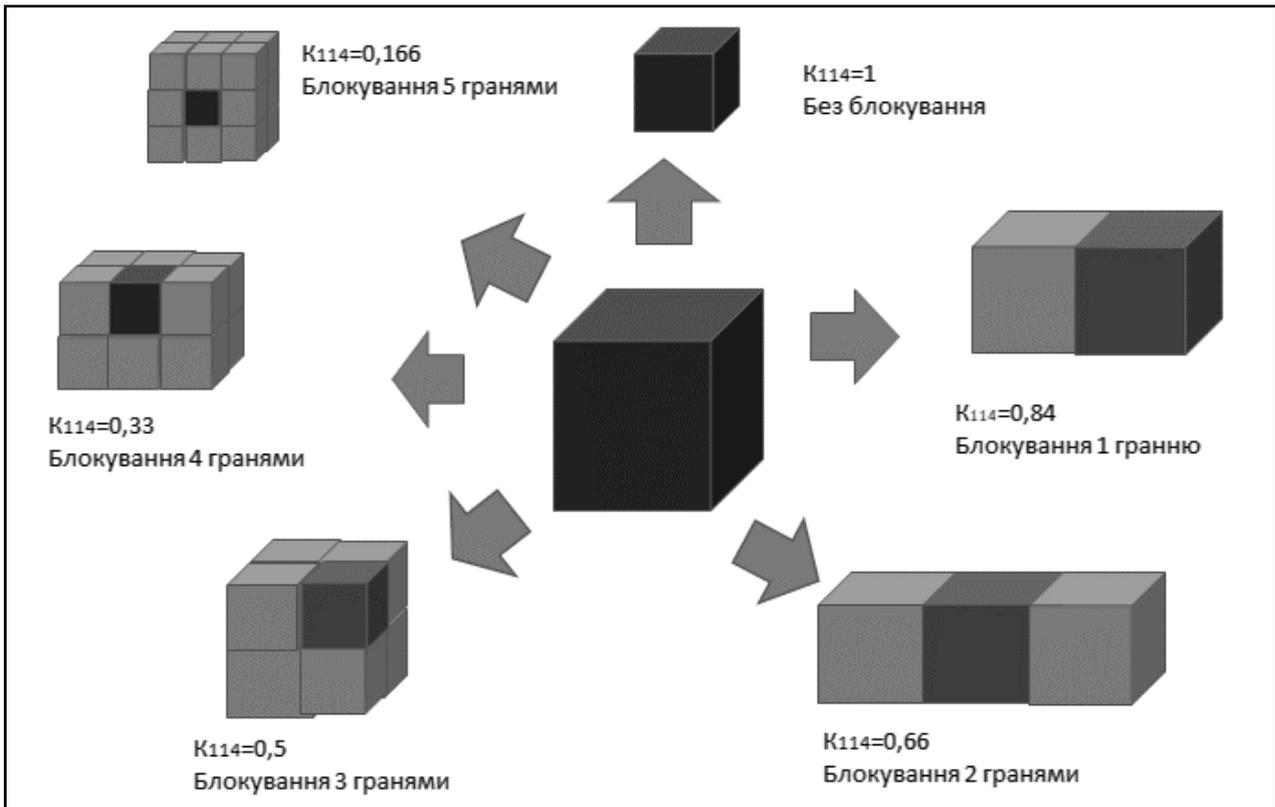


Рис. 1. Вплив блокування опалювального об'єму будівлі кубічної форми декількома гранями на зменшення трансмісійних тепловтрат. Коефіцієнт зміни трансмісійних тепловтрат  $K_{114}$

**Висновки.** У дослідженні запропоновано науково-методичний підхід до моделювання трансмісійних тепловтрат на основі коефіцієнтів впливу  $K_{114}$  для гранних будівель, що блокуються. Отримані аналітичні залежності дозволяють кількісно оцінити зниження тепловтрат, враховуючи комплекс параметрів: від геометрії об'єкта та структури його огорожень до теплофізичних властивостей матеріалів.

Практична цінність роботи полягає у можливості застосування розробленого інструментарію для проектування нових енергоефективних та зелених будівель, термомодернізації існуючого фонду та оптимізації мікрорайонів з метою суттєвого скорочення енерговитрат.

#### Список використаних джерел

1. Мартинов В.Л., Мартинюк О.Л., Поляк Ю.Ю., Банний Т.А. Структуризація заходів щодо зменшення енергоспоживання зелених будівель з елементами оптимізації геометричних параметрів. Прикладна геометрія та інженерна графіка міжвід. науково-техніч. збірник. 2024. Вип. 107. С. 90–95.

2. Мартинов В., Чирва, Т., Мартинюк О. Визначення раціонального опору теплопередачі непрозорих конструкцій енергоефективних будівель. Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності. 2023. №XII. С. 149–151. <https://doi.org/10.20535/ngikg2023.XII>

УДК 624.045.12

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ ПЛИТИ КЕСОННОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО СКЛЕПІННЯ

**Юрій ОХРИМЕНКО<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: д.т.н., професор Ігор ЯКОВЕНКО<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-yu.okhrimenko@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> yakovenko\_i\_a@nubip.edu.ua*

Загалом, під терміном «кесонне склепіння» розуміється це склепіння, поверхня якого прикрашена заглибленими елементами, що мають назву кесони (від лат. *Caisson* – «ящик») [1]. Ці заглиблення, найчастіше квадратні або багатокутні, розташовуються між ребрами жорсткості або балками склепіння.

Великорозмірну залізобетонну плиту розглядають як коротке циліндричне полого попередньо напружене склепіння з двома ребрами – діафрагмами сегментного обрису, рис. 1.

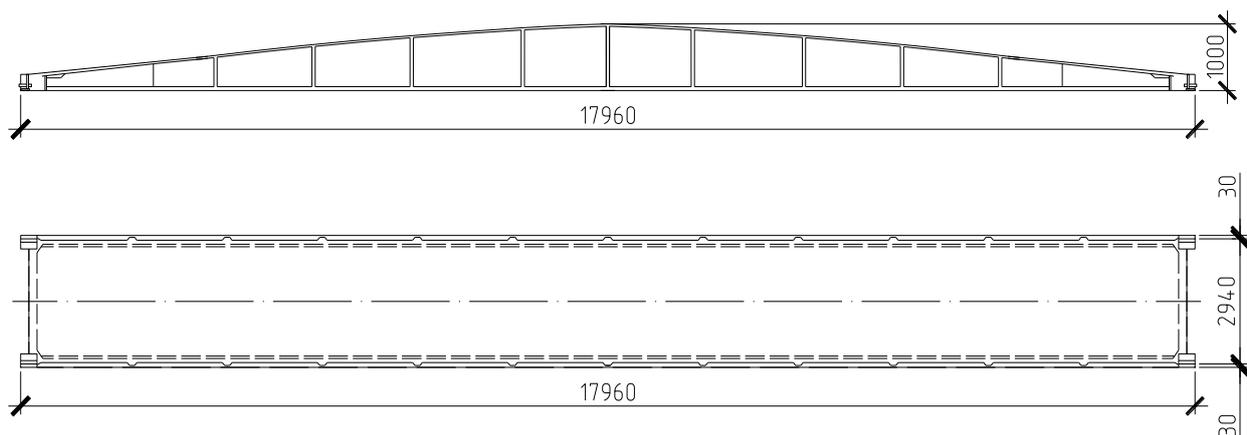


Рис. 1. Опалубне креслення плити кесонного залізобетонного склепіння (КЗС)

Геометричні характеристики плити представлені на рис. 2. Товщина крайніх від опор панельних стінок діафрагми  $b=50$  мм; інших  $b=40$  мм. Переріз вертикальних ребер жорсткості  $2\times 80\times 80$  мм через 1,5 м. Плече внутрішньої пари сил в перерізі по середині прольоту панелі  $z_0=100\times 0,5\times 30\times 50=935$  мм. Стінки діафрагм параболічного контуру між поясами мають найбільшу висоту в середині прольоту  $h'=1000 - 133 - 125=742$  мм, яка відповідає максимальному значенню нерівномірного навантаження  $g_{max}$ .

Окрім розрахунку нормальних і похилих перерізів за несучою здатністю, виконаний аналітичний розрахунок і перевірка КЗС за граничними станами другої групи [3, 4].

Розрахунок по виникненню тріщин згинальний момент в перерізі КЗС по середині прольоту від нормального навантаження, з  $\gamma_f=1$ .

$$M_{ser}=(1,29\times 3\times 17,75^2)/8=152,41 \text{ кНм.}$$

Момент опору перерізу відносно нижньої грані перерізу [3]:

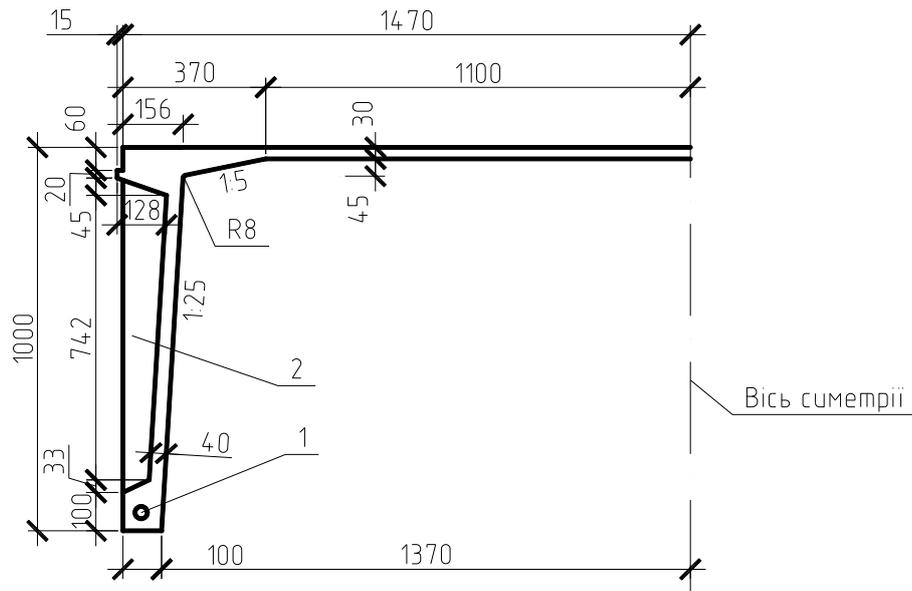


Рис. 2. Поперечний переріз КЗС:

1 – попередньо напружена арматура; 2 – вертикальне ребро жорсткості

$W_{red}=I_{red}/y=24288 \times 10^6/646=65448453 \text{ мм}^3$  тож, з урахуванням непружних деформацій бетону за формулою:

$$W_{pl}=1,4W_{red}=1,4 \times 65448453=91627834 \text{ мм}^3.$$

Відстань від центру тяжіння зведеного перерізу до ядрової точки, найбільш віддаленої від розтягнутої зони:  $r=W_{red}/A_{red}=6544843/285512=229 \text{ мм}$ .

Згинальний момент, який сприйнято перерізом, нормальним до повздовжньої осі елемента за утворення тріщин:

$M_k=155,83 \text{ кНм} > M_{ser}=152,41 \text{ кНм}$ , тобто тріщини утворюються і є нагальна потреба у розрахунку КЗС за тріщиностійкістю [3].

Розрахунок за тріщиностійкістю. Аналіз наукових праць [4, 5] та практичних рекомендацій [3] показує, що не завжди розрахунок залізобетонної конструкції за несучою здатністю є вирішальним. Приймається приведений переріз двох ребер плити КЗС розміром  $250 \times 1000 \text{ мм}$ . З армуванням  $2\text{Ø}28 \text{ мм}$  з  $A_s = 1230,9 \text{ мм}^2$  та  $4\text{Ø}5 \text{ мм}$  з  $A_s = 78,5 \text{ мм}^2$

Згідно формули ширину тріщини  $w_k$  необхідно визначати за виразом [2]:

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm}), \quad (1)$$

де  $s_{r,max}$  – максимальний крок тріщин;  $\varepsilon_{sm}$  – середні деформації в арматурі при відповідному сполученні навантажень;  $\varepsilon_{ctm}$  – середня деформація бетону між тріщинами.

Максимальний крок тріщин визначається за формулою [2, 3]:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \text{Ø} / \rho_{p,eff}, \quad (2)$$

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 35 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 3,4 \cdot 0,425 \cdot 28 / 0,045 = 478,64 \text{ мм}$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує характеристики зчеплення арматури (для арматури періодичного профілю  $k_1 = 0,8$ );  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує розподіл деформацій (для згину  $k_2 = 0,5$ );  $k_3 = 3,4$ ;  $k_4 = 0,425$ ;  $c$  – захисний шар бетону;  $\text{Ø}$  –

діаметр арматури;

$$\rho_{\rho, \text{eff}} = \frac{A_s}{A_{c, \text{eff}}} = \frac{\rho_s}{\lambda} = \frac{0,0049}{0,11} = 0,045, \quad (3)$$

де  $A_{c, \text{eff}}$  – фактична площа розтягнутого бетону, що оточує поздовжню арматуру,  $\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1230,9}{250 \cdot 1000} = 0,0049$  – коефіцієнт поздовжнього армування;

$$\lambda = \frac{h_{c, \text{eff}}}{h} = \frac{112,5}{1000} = 0,11;$$

$$h_{c, \text{eff}} = 2,5 \cdot (h - d) = 2,5 \cdot (1000 - 955) = 112,5 \text{ мм}.$$

Різниця між середніми деформаціями в арматурі та деформаціями бетону між тріщинами визначається за формулою

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct, \text{eff}}}{\rho_{\rho, \text{eff}}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{\rho, \text{eff}})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = \frac{132,6 - 0,4 \cdot \frac{2,6}{0,045} \cdot (1 + 6,33 \cdot 0,045)}{1,9 \cdot 10^5} \geq 0,6 \frac{132,6}{1,9 \cdot 10^5};$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = 0,00053 > 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,00042.$$

де  $\sigma_s$  – напруження у розтягнутій арматурі у перерізі з тріщинами.

Напруження в розтягнутій арматурі визначаємо за виразом:

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e \cdot M \cdot (d - x)}{I_x^*} = \frac{6,33 \cdot 155,83 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot (955 - 0,17)}{7105565496} = 132,6 \text{ МПа}$$

де  $M$  – момент від зовнішнього завантаження;  $I_x^*$  – момент інерції (момент другого порядку), що визначається за виразом:

$$I_x^* = \frac{b}{3} \cdot x^3 + \alpha_e \cdot A_s [(d - x)^2 + \beta(d' - x)^2]. \quad (5)$$

За формулою (5) визначено, що  $I_x^* = 7105565496 \text{ мм}^4$ .

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{ctm}} = \frac{1,9 \cdot 10^5}{30 \cdot 10^3} = 6,33.$$

Використовуючи формулу (1) та підставляючи отримані значення відстаней між тріщинами та деформації робочого армування та розтягнутого бетону, маємо  $w_k = s_{r, \text{max}} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm}) = 478,64 \cdot 0,00053 = 0,254 \text{ мм}$ .

Ширина тріщини, визначена за формулою (1) має задовольняти вимогу [2]:

$$w_k < w_{\text{max}}, \quad (6)$$

де  $w_{\text{max}} = 0,3 \text{ мм}$  – максимальна допустима ширина розкриття тріщини, яка залежить від класу умов експлуатації конструкції і визначається згідно табл. 5.1 ДСТУ Б.В.2.6–156:2010 [2]. Отже,

$$w_k = 0,254 \text{ мм} < w_{\text{max}} = 0,3 \text{ мм}.$$

Умова виконується, тому армування залишаємо прийнятим за результатами попередніх розрахунків.

Висновок: виконаний аналітичний розрахунок за двома групами граничних станів та конструювання плити-оболонки КЗС із урахуванням застосування попередньо напруженої арматури та важкого бетону.

#### Список використаних джерел

1. Бакулін, Є.А., Яковенко, І.А., Бакуліна, В.М. Інженерний захист та підготовка територій : навч. посіб. К. : НУБіП України, 2020. 212 с.
2. 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).
3. 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.
4. Дмитренко, Є.А., Яковенко, І.А. Чисельне моделювання моменту утворення тріщин у залізобетонних конструкціях із застосуванням ПК «САПФІР». *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2021. Вип. 39. С. 74–83.
5. Yakovenko, I.A. Dmytrenko, Ye.A. Influence of reinforcement parameters on the width of crack opening in reinforced concrete structures. *Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : collective monograph*. Riga: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2022. Pp. 510–536. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-18>

УДК 624.045.12

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗБОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ПО ПЛАСТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗЛАМУ

Денис ПОЛЯК<sup>1</sup>, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

Науковий керівник: к.т.н., доцент Наталія КОСТИРА<sup>2</sup>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-d.poliak@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> kostyra\_n\_o@nubip.edu.ua*

При розрахунку плита розглядається як система плоских ланок, розділених пластичними лініями зламу, за якими здійснюється поворот недеформованих ланок плити під дію зовнішнього навантаження.

Розрахунок проводиться з умови рівності роботи зовнішніх і внутрішніх сил. Робота зовнішніх сил визначається як добуток рівномірно розподіленого навантаження і сумарного вертикального переміщення плити. Робота внутрішніх

сил визначається як добуток граничних моментів, які сприймаються плитою по лініях зламу і кутів повороту ланок плити по цих лініях зламу.

У даному випадку розглядаються плоскі плити перекриття, що спираються на колони (рис. 1).

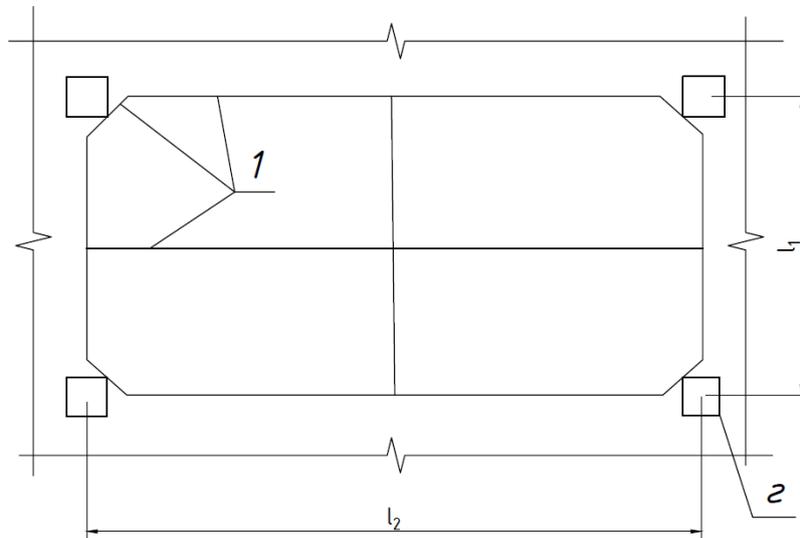


Рис. 1. Схема пластичних ліній зламу (1) плити з зосередженими опорами (2)

При рівномірному навантаженні по всій площі плити в середній панелі, що знаходиться між чотирьох ближніх опор (колон), утворюється система пластичних ліній зламу, включаючи лінії зламу, прямуючі по осям опор (колон), взаємно перпендикулярні лінії зламу, розташовані між опорами в прольоті, і лінії зламу під кутом 45°, розташовані у опор (колон) [1, 4].

Використовуючи методіку, приведену у [1], отримуємо наступне рівняння рівноваги:

$$\frac{q \cdot l_1 \cdot l_2 (l_1 + l_2)}{16} = \frac{1}{2} \cdot M'_{1,ult} + \frac{1}{2} \cdot M'_{2,ult} + M_{1,ult} + M_{2,ult}, \quad (1)$$

де  $l_1$  і  $l_2$  – крок опор (колон);  $M_{1,ult}$  і  $M_{2,ult}$  – граничні моменти, що сприймаються прольотними перерізами;  $M'_{1,ult}$  і  $M'_{2,ult}$  – граничні моменти, що сприймаються над опорними перерізами.

На основі цього рівняння отримуємо розрахункову умову:

$$q \leq \left( M_{1,ult} + M_{2,ult} + \frac{1}{2} M'_{1,ult} + \frac{1}{2} M'_{2,ult} \right) \cdot \frac{16}{l_1 \cdot l_2 \cdot (l_1 + l_2)}. \quad (2)$$

Граничні моменти  $M_{ult}$  визначаємо за загальними правилами, наведеними вище. Для квадратної сітки опор (колон) при  $l_1 = l_2 = l$ ,  $M_{1,ult} = M_{2,ult} = M_{ult}$  і  $M'_{1,ult} = M'_{2,ult} = M'_{ult}$  розрахункова умова має вигляд:

$$q \leq (2M_{ult} + M'_{ult}) \cdot \frac{8}{l^3}. \quad (3)$$

Розрахункову умову (3) можна виразити через одиничні моменти в вигляді:

$$m = \frac{q \cdot l^2}{8} \leq 2 \cdot \frac{M_{ult}}{l} + \frac{M'_{ult}}{l} = 2 \cdot m_{ult} + m'_{ult}. \quad (4)$$

Розрахунок несучої здатності плит по виділеним лінійним елементам проводиться на основі стрижневий моделі [1]. У цьому випадку плита поділяється на умовні ригелі, розташовані в двох взаємно перпендикулярних напрямках, шириною, яка дорівнює відстані між центрами прольотів, а умовний ригель в свою чергу поділяється на надколонні і міжколонні смуги [4].

З статичного розрахунку рамної стрижневої системи визначаються згинальні моменти та поперечні сили, що діють в умовних ригелях на опорі і в прогоні, які розподіляються за спеціальними правилами між надколонною і міжколонною смугами. Розрахунок несучої здатності надколонних і міжколонних смуг проводиться як окремих лінійних елементів на дію відповідних згинальних моментів і поперечних сил по загальним правилам розрахунку лінійних залізобетонних елементів з умов:

$$M_{on1} \leq M_{on1,ult}; \quad M_{on2} \leq M_{on2,ult}; \quad M_{np1} \leq M_{np1,ult}; \quad M_{np2} \leq M_{np2,ult} \quad (5)$$

де  $M_{on1}, M_{on2}, M_{np1}, M_{np2}$  – згинаючі моменти на опорі і в прольоті для надколонної і міжколонної смуг, отримані із статичного розрахунку замінюючої рамної системи;  $M_{on1,ult}, M_{on2,ult}, M_{np1,ult}$  – граничні значення згинаючих моментів, що сприймаються виділеними залізобетонними лінійними елементами по нормальним перерізам.

Висновки. Розрахунок несучої здатності плит на основі плоского виділеного елемента дозволяє найбільш повно і всебічно оцінювати опір плит, комплексно враховуючи згинальні моменти в двох напрямках і крутний момент. При цьому такий метод дозволяє проводити розрахунок плит різної конфігурації, при різних схемах навантаження і спирання.

Недоліком такого підходу є необхідність застосування чисельного методу розрахунку (методу скінченних елементів), який може бути реалізований тільки за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

Розрахунок несучої здатності плит на основі заміни лінійних елементів відрізняється великою простотою і наочністю, оскільки заміна плоскої плити системою лінійних елементів дозволяє використовувати звичайні методи розрахунку залізобетонних елементів за нормальними і похилими перерізами, що широко застосовуються в інженерній практиці та наведені у нормативних документах.

Основний недолік цього методу полягає в достатній умовності виділення в плиті лінійних елементів і поділу зусиль між надколонною і міжколонною смугами. Крім того, цей метод можна застосовувати тільки для регулярної або тієї, що мало відрізняється від регулярної конструктивної систем. Слід зазначити, що метод замінючих лінійних елементів широко використовується в практиці будівництва і має високу надійність.

#### Список використаних джерел

1. 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.

2. Дмитренко, Є.А. Гензерський, Ю.В., Яковенко, І.А., Бакулін, Є.А. Особливості розрахунку міцності нормальних перерізів згинальних залізобетонних конструкцій за методом Вуда в ПК «ЛІРА САПР». *Український журнал будівництва та архітектури : науково-практичний журнал*. Дніпро : ДВНЗ ПДАБА, 2021. № 5 (005). С. 41–49.

3. Barabash M.S., Kostyra N.O., Maksymenko V.P. (2024). Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact. *International Scientific Applied Conference Problems of Emergency Situations (PES 2024)*. Vol. 156 – 65-74 p. <https://doi.org/10.4028/p-CSaY06>

4. Павліков, А.М. Залізобетонні конструкції : будівлі, споруди та їх частини: підручник. Полтава : ТОВ «АСМІ», 2017. 284 с.

УДК 624.012 (075.8)

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТИПОВОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ДІАФРАГМИ ЖОРСТКОСТІ

**Богдан ФЕДОРЧУК<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник:** к.т.н., доцент **Євгеній БАКУЛІН<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup> f.bohdan95@gmail.com; <sup>2</sup> bakulin\_evgeniy@nubip.edu.ua*

У будівлях запроєктованих за рамно-зв'язковою конструктивною схемою визначено, що жорсткість каркасу забезпечується спільною роботою каркаса (рам всіх поверхів) та всіх вертикальних діафрагм жорсткості. Загальна жорсткість об'ємно-просторової структури будівлі залежить від долі участі роботи всього каркасу та діафрагм, що визначається певним співвідношенням жорсткості кожного з них.

Повна жорсткість об'ємно-просторової структури будівлі такого типу визначається як сума жорсткості всіх діафрагм та рамного каркасу:

$$B = \sum B_i + \sum B_d, \quad (1)$$

де  $\sum B_i$  – сумарна жорсткість рамників всього каркасу будівлі;  $\sum B_d$  – сумарна жорсткість всіх діафрагм (ядер жорсткості) каркасу будівлі.

Одна з основних функцій діафрагм жорсткості – сприймати горизонтальні навантаження. У нашому випадку у об'ємно-просторовій структурі висотної будівлі (висота будівлі сягає 88,15 м) всі зусилля, що виникають в вертикальних діафрагмах жорсткості збільшуються по висоті, відносно кожного поверху будівлі. З досвіду проведених досліджень визначено, що у верхній частині висотних будівель нормальні сили збільшуються більш інтенсивно, ніж згинальні моменти. Це пов'язано із збільшенням ексцентриситетів у верхній

частині будівлі, що викликає зростання стискаючої сили діафрагми в нижній частині будівлі.

За даних умов розглядаються комбінації зусиль:

1. Розрахунки виконуються по найбільшій поздовжній силі ( $N_{max}$ ), а відповідний момент від вертикального навантаження ( $M_{верт.}$ ) та найбільші значення моментів від горизонтальних навантажень ( $M_{гор.}$ ).

2. Розрахунки виконуємо на найменші значення поздовжніх сил ( $N_{min}$ ), відповідні моменти від вертикальних навантажень ( $M_{верт.}$ ) і найбільші значення ( $M_{гор.}$ ).

З досвіду раніше проведених досліджень в практичних розрахунках емпірично приймається:

$$- N_{min} \approx 0,7N_{max}; \quad (2)$$

$$- M_{min\ верт} \approx 0,7M_{max\ верт}. \quad (3)$$

Розрахунок несучої здатності горизонтальних перерізів діафрагми проводять у відповідності з правилами розрахунку позцентрова стиснутих елементів:

$$e_x = M/N + e_{xa}, \quad (4)$$

де  $e_{xa}$  – випадковий ексцентриситет (його приймають як  $h/30$ ).

Моделювання конструкції діафрагми жорсткості виконано у вигляді набору тіл стандартного типу (стержнів, пластин, оболонок тощо), які називаються скінченними елементами і приєднуються до вузлів. Вузли в розрахунковій схемі представлені у вигляді жорсткого тіла. Положення вузлів при деформаціях системи визначається координатами центра та поворотами кутів відносно трьох координаційних осей (рис. 1).

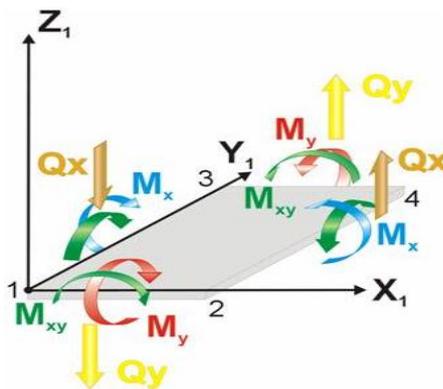


Рис. 1. Правила знаків зусиль відносно трьох координаційних осей

#### Висновки

1. Розрахунки проведені в автоматизованому програмному комплексі МОНОМАХ-САПР «СТІНА». Жорсткісні параметри типової діафрагми жорсткості призначалися згідно проектним рішенням.

2. Відповідно до проектних рішень типова залізобетонна діафрагми жорсткості розраховувались згідно вимогам діючих норм по ДБН В.1.2–14-2019:

- категорія складності об'єкту – IV.
- клас наслідків (за відповідальністю) було прийнято ССЗ.
- категорія відповідальності конструкції діафрагми жорсткості – А.

- коефіцієнт надійності за призначенням відносно рівня відповідальності:
  - для розрахунку за першою групою граничних станів  $\gamma_n=1,25$ ;
  - для розрахунку за другою групою граничних станів  $\gamma_n=1,0$ .

3. Розрахунки проводились з умов можливих відхилення та без відхилень розрахункової схеми залізобетонної діафрагми жорсткості.

4. За результатами розрахунків на основі проведеного аналізу співставлення можливо зазначити:

- значення величин вузлових поворотів кутів діафрагми не перевищують гранично допустимі значення;
- лінійні переміщення діафрагми жорсткості знаходяться в межах гранично допустимі значень.

5. Провівши порівняння результатів розрахунку типової діафрагми жорсткості визначено, що по поверхам будівлі (від першого до сьомого поверхів) необхідно збільшити армування перетинів на 10–12%, що забезпечить їх надійну та довговічну роботу.

#### Список використаних джерел

1. Мар'єнков, М.Г., Немчинов, Ю.І., Бабік, К.М. Особливості нової редакції ДБН В. 1.1-12: 202Х «Будівництво у сейсмічних районах. основні положення». Наука та будівництво. 2023. № 36 (2). С. 30–40. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-4>

2. Немчинов, Ю., Мар'єнков, М., Бабік, К. та ін. Нормативні акти в сфері сейсмостійкого будівництва нового покоління. Зміна № 1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». Наука та будівництво. 2019. Вип. 19(1). С. 4–17. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v19i1.62>

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

УДК 624.042

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ ҐРУНТУ ТА ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ПРИ ПРОЇЗДІ ТРАМВАЇВ

**Ігор САВРАСОВ<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: д.т.н., с.н.с. Микола МАР'ЄНКОВ<sup>2</sup>**

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

*E-mail: <sup>1</sup>btsi24-i.savrasov@nubip.edu.ua; <sup>2</sup>m.maryenkov@nubip.edu.ua*

Приведені результати динамічних досліджень ґрунту і конструкцій 5 поверхового житлового будинку з несучими цегляними стінами по вул. Межигірській, 3/7 у м. Києві із урахуванням чинних нормативних документів [1–5]. При динамічних впливах трамваїв на протязі багаторічної експлуатації житлового будинку виникли нерівномірні осідання фундаментів та

пошкодження їх і несучих цегляних стін (рис. 1). Дані досліджень вібрації ґрунту та будівель при впливах трамваїв та потягів залізниці свідчать [6, 7] про можливість виникнення осідань фундаментів при перевищенні прискорень ґрунту біля фундаментів значення  $15 \text{ см/с}^2$ . Дослідження вібрацій ґрунту та конструкцій будинку виконано з метою розроблення рекомендацій для подальшої безпечної експлуатації будинку.

Обстеження проводились з використанням віброметричної апаратури. Результати містять дані про зареєстровані максимальні величини віброприскорень конструкцій будинку та прилегло до них ґрунту при впливах рейкового наземного транспорту (трамваїв). Приведені дані про частотний діапазон коливань конструкцій та рівні прискорень перекриття будинку і порівняння з допустимими рівнями вібрації у житлових приміщеннях за Санітарними нормами [2, 3].



Рис. 1. Пошкодження фундаменту (а) та несучої цегляної стіни (б) будинку (тріщини шириною до 20 мм)

Метою досліджень є експериментальне визначення значень вертикальних та горизонтальних віброприскорень ґрунту та конструкцій житлового будинку при динамічних впливах від трамваїв та порівняння із гранично допустимими значеннями.

Результатом проведених вібродинамічних досліджень є записи часових сигналів горизонтальних та вертикальних віброприскорень ґрунту і конструкцій будинку та їх амплітудні вузькосмугові та октавні спектри. Обробка вібросигналів, отриманих при вібродинамічних дослідженнях, проведена з використанням спеціалізованої програми.

Натурні динамічні обстеження при одночасному вимірюванні вертикальних або горизонтальних віброприскорень ґрунту та конструкцій будинку проведено під час проїзду трамваїв на відстані 4,0 м від фундаменту будинку. На рис. 2 наведено часовий сигнал та вузькосмуговий спектр вертикальних віброприскорень ґрунту біля фундаменту будинку по вул. Межигірській, 3/7, отримані при проїзді трамваїв (час записів прийнято 5 хвилин). Максимальні значення прискорень ґрунту досягають  $94 \text{ см/с}^2$ .

На рис. 3 наведені октавні спектри вертикальних та горизонтальних віброприскорень перекриття в житловому приміщенні квартири №35, отримані при проїзді трамваїв. Перевищення у вертикальному напрямку допустимого

значення на 14 дБ – у 4 рази (допустимий рівень віброприскорень 71 дБ в октаві «16 Гц» для нічного часу); у горизонтальному напрямку рівень максимальний зареєстровано 75 дБ в октаві «31,5 Гц», що наближається до допустимого значення 77 дБ для нічного часу.

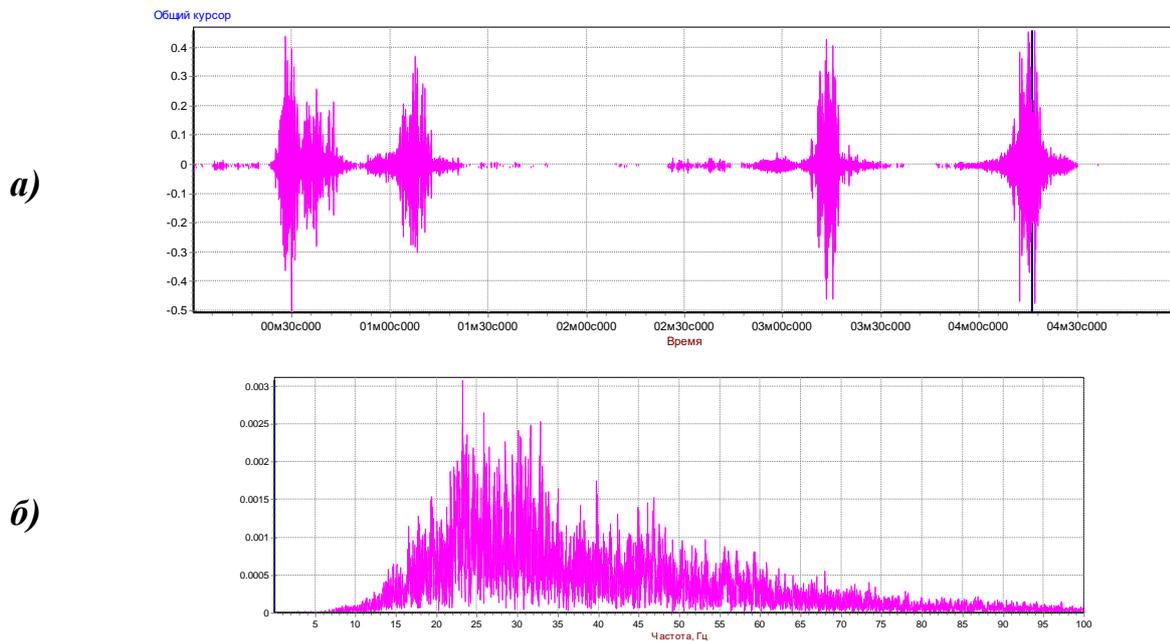


Рис. 2. Зареєстрований сигнал (а) та вузькосмуговий спектр (б) вертикальних віброприскорень ґрунту біля будинку при проїзді трамваїв

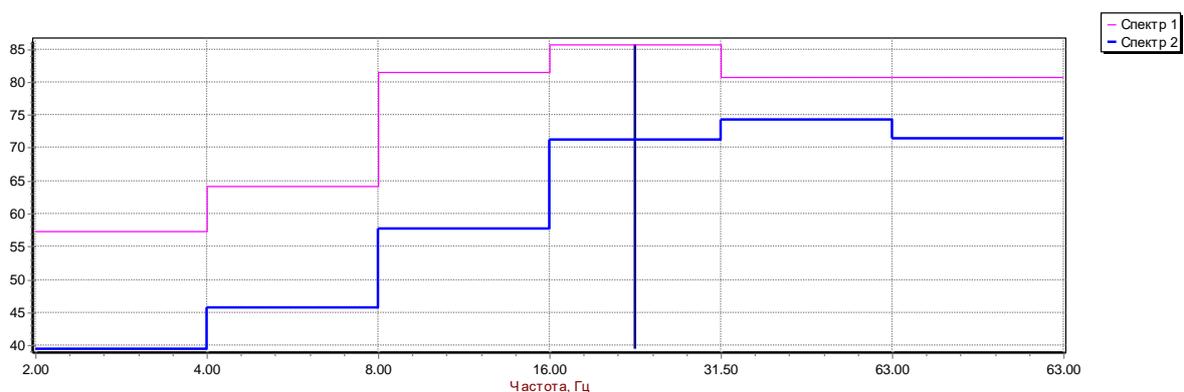


Рис. 3. Октавні спектри вертикальних (червона лінія, верхня) та горизонтальних перпендикулярно вул. Межигірській віброприскорень (синя лінія, нижня) у центрі перекриття житлового приміщення квартири №35 при впливах трамваю

Дані проведених динамічних досліджень ґрунту та конструкцій житлового будинку дозволили зробити наступні висновки та рекомендації:

1. Зареєстровані фактичні значення вертикальних віброприскорень ґрунту біля будинку  $94 \text{ см/с}^2$  та горизонтальних віброприскорень  $17,0 \text{ см/с}^2$  ґрунту при проїзді трамваїв є головною причиною багаторічних незагасаючих осідань ґрунту та фундаментів будинку, а також руйнувань фундаменту та стін житлового будинку. Згідно шкали SWD польських норм [5] допустиме значення віброприскорень фундаментів будівель із пошкодженнями дорівнює  $8-12 \text{ см/с}^2$ . Зареєстроване значення віброприскорень (при проїзді трамваїв) фундаментів  $19 \text{ см/с}^2$ , що перевищує допустиме у 2 рази.

2. При проїзді трамваїв зареєстровано у центрі перекриття житлового приміщення квартири №35 перевищення вібрації у вертикальному напрямку допустимого значення на 14 дБ – у 4 рази (допустимий рівень віброприскорень 71 дБ в октаві «16 Гц» для нічного часу); у горизонтальному напрямку рівень максимальний зареєстровано 75 дБ в октаві «31,5 Гц», що наближається до допустимого значення 77 дБ для нічного часу.

3. Рекомендується розробити наступні заходи щодо зниження динамічних навантажень на пошкоджені конструкції будинку до допустимих значень: *а* – виконати влаштування безстикових рейок; *б* – виконати влаштування віброізоляції рейок; *в* – самий кращий варіант – замінити трамвайні маршрути по вулицях Межигірській та Спаській на тролейбусні або автобусні.

#### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. К. : Мінрегіон України, 2008.

2. ДБН В.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. К. : Мінрегіон України, 2019. 179 с.

3. ДСТУ ГОСТ12.1.012-2008. ССБТ. Вибрационная безопасность.

4. ВСН 490-87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. - Минмонтажспецстрой. М.-1988.

5. PN-B-02170:2016-12. Assessment of harmful effects of ground-transferred vibrations on buildings (Оцінка шкідливого впливу вібрації ґрунту на будівлі).

6. Немчинов, Ю., Мар'єнков, М., Бабік, К. та ін. Нормативні акти в сфері сейсмостійкого будівництва нового покоління. Зміна № 1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». *Наука та будівництво*. 2019. Вип. 19(1). С. 4–17. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v19i1.62>

7. Кудрявцев І.А. Вплив вібрації на основи споруд. – Гомель : БелГУТ, 1999. (рос. мовою).

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

УДК 621.3:005

## РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ

**Богдан САНЧУК<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник:** д.т.н., професор **Вячеслав МАРТИНОВ<sup>2</sup>**

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

E-mail: <sup>1</sup>*btsi24-b.sanchuk@nubip.edu.ua*; <sup>2</sup>*arx.martynov@gmail.com*

Енергетичним аудитом називають обстеження будівель, їх елементів, технологічних процесів, інженерних систем, агрегатів, устаткування, комунікацій і трубопроводів і з наступною оцінкою і аналізом існуючої ситуації та розробкою заходів, які можуть бути здійснені з метою раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, зменшення втрат теплової енергії, скорочення споживання теплової, електричної і інших видів енергії, підвищення енергетичної ефективності роботи обладнання, та покращення мікроклімату в будівлях.

У ході виконання енергетичного аудиту будівель і споруд здійснюється визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів для будівель під час їх експлуатації, що включає наступне:

- проведення аналізу архітектурно-планувальних рішень, інструментального встановлення теплотехнічних показників теплоізоляційної оболонки будинку та енергетичних характеристик інженерного обладнання;
- виявлення структури енерговитрат на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, освітлення та інші потреби упродовж опалювального періоду;
- визначення відповідності фактичних питомих тепловитрат нормативним значенням;
- визначення потенціалу енергозбереження;
- розробка обґрунтованих рекомендацій з підвищення рівня енергетичної ефективності будівель – комплексу технічних, організаційних і експлуатаційних заходів, які приводять до зниження витрат теплової і інших видів енергії за умови обов'язкового забезпечення оптимальних кліматичних і інших умов життєдіяльності людини у приміщеннях будівлі [1].

При проведенні енергоаудиту у будинках повинні бути досліджені усі фактори, які впливають на рівень енергоспоживання і створення необхідних умов життєдіяльності людини. Увесь комплекс дослідницьких робіт [1–3] може бути умовно розділений на наступні етапи:

1. Підготовчі роботи. Збір вихідних даних про об'єкт.
2. Попереднє обстеження об'єкту. На основі виконаних робіт визначається потенціал енергозбереження і попередньо призначаються енергозберігаючі заходи.
3. Проведення енергетичного аудиту (повного або спрощеного).
4. Етап впровадження заходів з енергозбереження. На етапі впровадження Замовнику необхідно здійснювати керівництво процесом упровадження і навчання персоналу.
5. Експлуатація об'єкту після впровадження заходів. У ході експлуатації об'єкту здійснюються заходи з енергомоніторингу.

На етапі проведення підготовчих робіт і збору даних визначається перспективність подальшої реалізації проекту. На етапі попередніх обстежень визначають можливість реалізації енергозберігаючих заходів, включаючи загальний потенціал економії енергії, необхідні інвестиції і термін їх окупності. Якщо Замовник вважає виявлені можливості енергозбереження такими, що заслуговують уваги, то процес продовжується виконанням енергоаудиту, який

більш глибоко досліджує пропонувані заходи, включаючи пропозиції по реалізації і фінансовий план.

Проекти, пов'язані із споживанням теплової енергії мають найбільший потенціал енергоефективності (до 70% за оцінками деяких учених). Розроблені Європейські стандарти витрат теплової енергії в житлових будинках (кВт·год/м<sup>2</sup> на рік) налічують 14 класів об'єктів за енергоефективністю.

Так класу А відповідає енергоспоживання в пасивному будинку (менше 15 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік), класу В від 15 до 45 кВт·год/м<sup>2</sup>, класу С від 46 до 75 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу D від 76 до 90 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу Е від 91 до 105 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу F від 106 до 120 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу G від 121 до 135 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу H від 136 до 150 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу I від 151 до 165 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу J від 166 до 180 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу K від 181 до 195 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу L від 196 до 225 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу M від 226 до 270 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, класу N більше 270 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік.

Відповідно, в середньому, енергоспоживання у житлових будинках України перевищує 300 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, тобто відноситься до класу N. Повна термомодернізація будівлі шляхом реконструкції здатна понизити енергоспоживання в будинку до класу С, тобто в 4–5 разів. Відповідно, споживання теплової енергії у масштабах міста можна понизити на 50–70%, якщо провести глибоку термомодернізацію усіх багатоповерхових житлових будинків і об'єктів комунальної власності [2, 3].

Наряду з енергоаудитом об'єктів в будівництві також виконуються роботи з технічного обстеження будівлі з метою встановлення придатності окремих несучих і огорожуючих елементів і об'єкта в цілому до подальшої експлуатації.

Для забезпечення вільного обігу і використання будівельних виробів по всій території України з урахуванням відмінностей у географічних чи кліматичних умовах та способах життя, що можуть переважати у температурних зонах України, повинні застосовуватись рівні або класи основної вимоги та експлуатаційних властивостей будівельних виробів та матеріалів.

Будівельний об'єкт повинен бути запроектований та зведений так, щоб протягом економічно обґрунтованого періоду нормальної експлуатації при виконанні встановлених вимог до внутрішнього мікроклімату приміщень і інших умов мешкання і (або) діяльності людей забезпечувалося ефективно і економне витрачання енергетичних ресурсів. Основна вимога "економія енергії" стосується зниження енергоспоживання будівельних об'єктів при їх експлуатації з урахуванням кліматичних умов, місцезнаходження та призначення. Вимога щодо економії енергії розповсюджується на використання енергії для опалення та охолодження приміщень, регулювання вологості, гарячого водопостачання та вентиляції. При визначенні застосування енергії для забезпечення відповідних умов під час експлуатації будівельних об'єктів необхідно враховувати умови навколишнього середовища.

Розрахункові характеристики матеріалів конструктивних систем, які застосовують для теплової ізоляції будівельних об'єктів, визначаються нормативними документами, на підставі яких обчислюють теплотехнічні показники конструктивних систем та теплових витрат будівельних об'єктів.

Запропоновані проєктні рішення у роботі передбачають виконання значних обсягів будівельно-монтажних і оздоблювальних робіт з метою будівництва під час реконструкції існуючої будівлі нової споруди спортивного комплексу.

Для визначення проєктної пропозиції стосовно обсягів реконструкції об'єкту попередньо виконано технічні обстеження стану будівлі і сформульовано висновки стосовно можливості подальших інвестицій в

Остаточним висновком комісії є розробка проєктних рішень з розбирання аварійної будівлі спорткомплексу і на частині фундаменту, а також з улаштуванням додаткових несучих конструкцій фундаментів по спорудженню нової будівлі спорткомплексу.

#### **Список використаних джерел**

1. Мартинов В., Чирва, Т., Мартинюк О. Визначення раціонального опору теплопередачі непрозорих конструкцій енергоефективних будівель. Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності. 2023. №XII. С. 149–151. <https://doi.org/10.20535/ngikg2023.XII>

2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145. Режим доступу: <http://search.ligazakon.ua>.

3. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. Дата оновлення: 18.08.2017.

УДК 69.059.7

## **АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН**

**Владислав ЛОГВИНЕНКО<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: к.т.н. Микола УСЕНКО<sup>2</sup>**

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

*E-mail: <sup>1</sup>btsi24-v.lohvyntenko@nubip.edu.ua; <sup>2</sup>usenko.m@nubip.edu.ua*

Аналіз способів реконструкції каркасних будівель та споруд, наведений у роботах [1–6] показує, що є доволі значний клас конструкцій, які потребують посилення. Саме тому, автори вирішили зосередити увагу на стержневих вертикальних залізобетонних конструкціях колон, які застосовуються у більше ніж  $\approx 70\%$  каркасних будівель.

У роботі розглядаються залізобетонні конструкції колон, які потребують посилення внаслідок збільшення навантаження та/або наявності значних дефектів у вигляді чисельних сколів бетону, відшарування захисного шару бетону, наявності корозії робочого армування тощо [2, 3 та ін.].

Для виконання посилення колон застосовується кілька типів обойм, які відрізняються між собою конструктивними особливостями, матеріалами, виконанням робіт та ефективністю посилення [1, 6 та ін.].

Одним із типів залізобетонних обойм є обойми зі звичайною поздовжньою та поперечною арматурами без зв'язку з арматурою колони, яка посилюється (рис. 1). Перед бетонуванням обойми необхідно підготувати поверхню посилюваної колони. Товщина обойми колони залежить від ступеня підсилення й звичайно є не більшою ніж 300мм і не меншою 70–80мм. Клас бетону обойми приймається за класом бетону колони, але не нижчим С20/25. Площа поздовжньої арматури обойми визначається розрахунком.

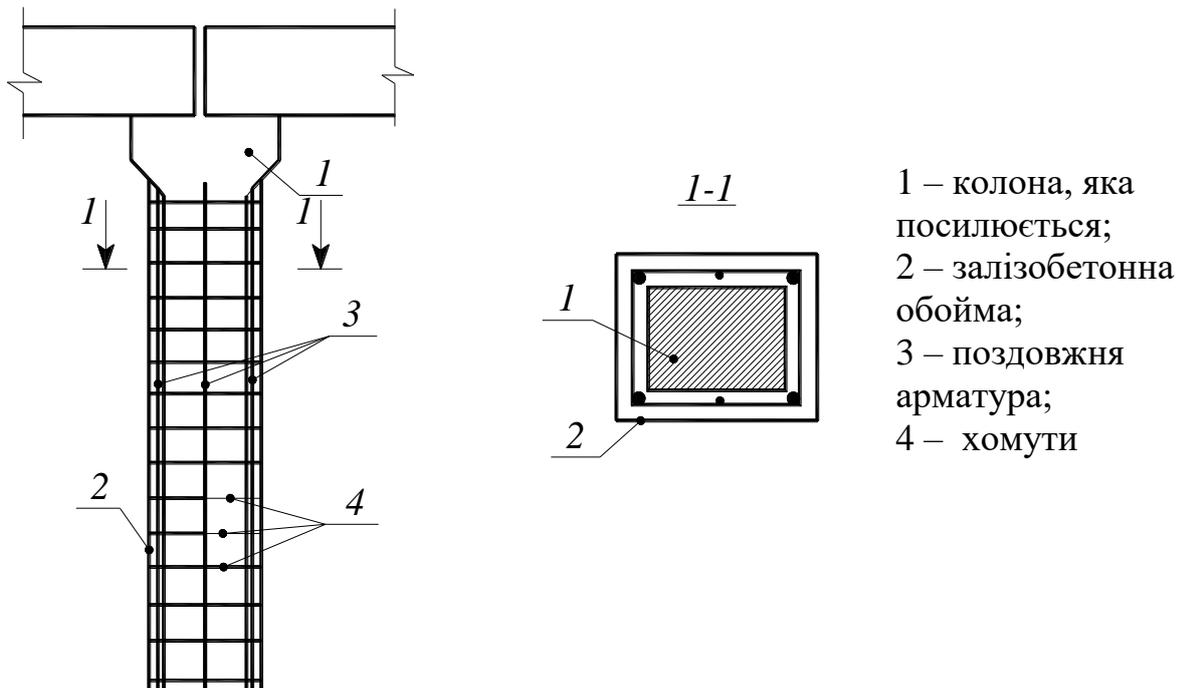


Рис. 1. Влаштування залізобетонної обойми

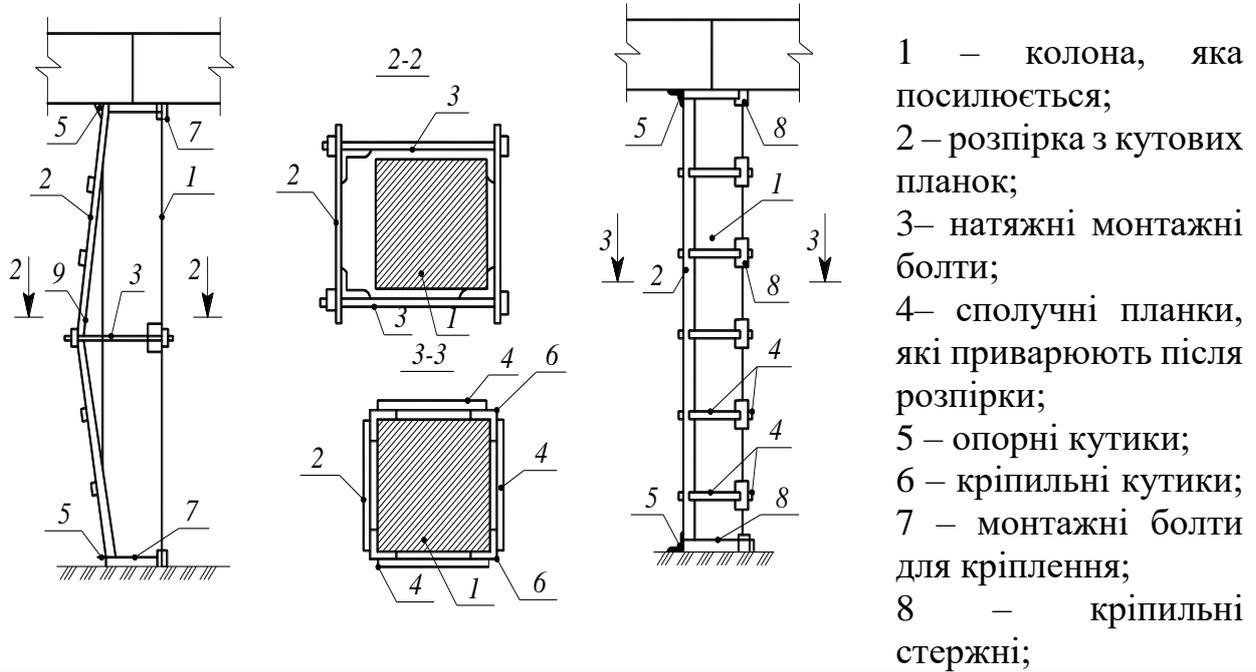
Залізобетонні обойми можуть бути виконані з поперечною арматурою у вигляді спіральної обмотки з арматурних стержнів. Залізобетонні обойми зі спіральною обмоткою мають підвищену несучу здатність при центральному стиску [1, 5].

Посилення колон може виконуватися однобічним, двостороннім або трьохстороннім нарощуванням (сорочка) (рис. 2). Армуння нарощування складається з поздовжньої та поперечної арматури. Особлива увагу варто приділяти анкеруванню поперечної арматури на кінцях поперечного переріза нарощування. При посиленні колон хомути повинні приварюватися до хомути підсилюваної колони.

При посиленні центрально- і позacentрово стиснутих колон під навантаженням рекомендується влаштовувати попередньо напружені металеві розпірки (рис. 3).

Конструкція розпірки являє собою два кутики, що з'єднані між собою металевими планками. У верхній і нижній зонах розпірок приварюють спеціальні планки товщиною не менше 15мм, які передають навантаження на опорні

кутики, і мають площу поперечного перерізу, що дорівнює перерізу розпірок. Попереднє напруження розпірок створюється шляхом надання вертикального положення за рахунок закручування гайок натяжних болтів. При цьому необхідно забезпечити щільне прилягання кутиків до тіла колони, а також їхню спільну роботу, з'єднавши розпірки й металеві планки за допомогою зварювання.



9 – виріз у бічній полицці кутика в місці його перегину при монтажі (після встановлення у проектне положення заварений накладкою)

Рис. 2. Влаштування однібічних розпірок:  
а – період монтажу; б – проектне положення

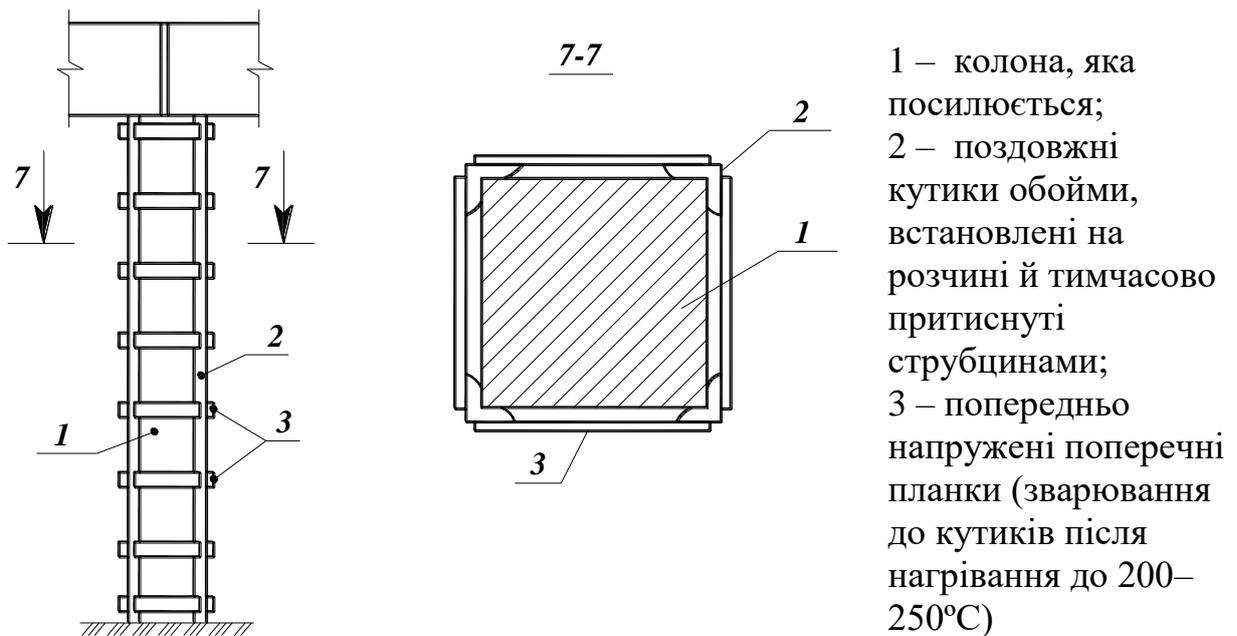


Рис. 3. Влаштування попередньо напружених хомутив

Крок планок приймають не більшим мінімального розміру перерізу колони. Після зварювання планок стяжні монтажні болти знімають, а послаблені перерізи розпірок підсилюють додатковими металевими накладками.

Висновки. Виявлені способи посилення залізобетонних конструкцій колон, які сприймають центральний або позацентровий стиск. Кожен із запропонованих способів може застосовуватися у залежності від можливостей його практичної реалізації, – доступу до бічних поверхонь конструкції, наявності матеріалу посилення, економічного належного обґрунтування, швидкості здійснення та монтажу. Розробка розрахункового апарату, що враховує взаємодію «старого» і «нового» бетону або нових конструктивних елементів, виконаних зі сталевого прокату теж потребує залучення і побудови нових, більш точних алгоритмів розрахунку.

#### Список використаних джерел

1. Яковенко, І.А., Бакулін, Є.А. Реконструкція будівель та споруд аеропортів : мет. реком. до виконання РГР для студентів спец. 6.06010101. К. : НАУ, 2013. 50 с.
2. Клименко, Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд : навчальний посібник. К., 2004. 304 с.
3. Бабич, Є.М., Караван, В.В., Бабич, В.Є. Діагностика, паспортизація та відновлення будівель і інженерних споруд : підручник. Рівне : «Волинські береги», 2018. 176 с.
4. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель та споруд : навч. посібник / З.Я. Бліхарський. Стрій : вид-во «Стрійська політехніка», 2008. 108 с.
5. Валовий О.І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд : навч. посібник / О.І. Валовий. – Кривий Ріг : «Мінерал», 2003. – 270 с.
6. Golyshev, O.V., Kolchunov, V.I., Yakovenko I.A. (2013) Theory and calculation of reinforced concrete precast-monolithic structures, taking into account long-term processes. Talkom Publ., Kyiv, 337 p.

УДК 624.042

## ВІБРОМОНІТОРИНГ КОНСТРУКЦІЙ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ ПРИ ВПЛИВАХ ПОТЯГІВ ЗАЛІЗНИЦІ

**Микола ПИЛИПЕНКО<sup>1</sup>**, здобувач вищої освіти 2 року навчання  
магістратури ОПІ «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: д.т.н., с.н.с. Микола МАР'ЄНКОВ<sup>2</sup>**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: <sup>1</sup>btsi24-m.pylypenko@nubip.edu.ua; <sup>2</sup>m.maryenkov@nubip.edu.ua*

Приведено результати вібраційного моніторингу будівлі складського призначення, що розташована по вул. Залізничне шосе в м. Києві в зоні впливів потягів залізниці (відстань від торця будівлі до колії залізниці дорівнює 30 м).

Динамічні обстеження являються частиною комплексних робіт по натурному обстеженню будівлі з метою визначення можливості надбудови будівлі та проведення реконструкції.

Наведена триповерхова будівля з несучими цегляними стінами та підвальною частиною довгий час не експлуатувалась за прямим призначенням. Було заплановано провести реконструкцію будівлі з метою переобладнати наявні приміщення будівлі в офісні та надбудувати додатково ще два поверхи. Тому будуть збільшені статичні навантаження, а також необхідно враховувати динамічні навантаження при проїзді вантажних потягів. Заплановано, що майбутня надбудова буде виконуватись також цегляною. Зовнішні та внутрішня осьова стіна являються несучими. Переkritтя будуть монтуватись із збірних пустотних панелей переkritтя, покриття – з типових плит покриття.

Наявна будівля складається з двох частин (частина А та Б), кожна з яких в плані близька за формою до прямокутної трапеції. Загальний вигляд будівлі, що обстежується, представлений на рис. 1, а, датчиків вібрації на переkritті будівлі під час вібромоніторингу на рис. 1, б.



Рис. 1. Загальний вигляд будівлі (а) та розміщення датчиків вібрації на переkritті (б)

Об'єктом дослідження при виконанні динамічних обстежень були несучі будівельні конструкції (переkritтя) обстежуваної будівлі. При динамічних обстеженнях визначався рівень віброприскорень при фоновому впливі на несучі конструкції будівлі та при русі залізничних потягів.

Мета досліджень - визначити максимальний рівень віброприскорень несучих будівельних конструкцій при проїзді рухомого залізничного складу.

Методи досліджень. Динамічні обстеження здійснювались спеціальною віброметричною апаратурою. Дані доповнювались візуальними спостереженнями для ідентифікації залізничних потягів та їх призначення.

Датчики прискорень встановлювались на переkritтях I-го та III-го поверхів будівлі безпосередньо на цементну основу (рис. 1, б) в кожній із двох частин будівлі відповідно на вімітках 0.00 та 6.00. На рис. 1, б представлено розміщення датчика прискорення ДН-3 на першому поверсі частини А будівлі. Датчики розміщувались в одній вертикальній площині та вертикалі для одночасної реєстрації прискорень. Датчики розміщувались в приміщеннях, що розташовані ближче (відстань до колії залізниці 30 м) до джерела динамічного

впливу при русі залізничних потягів. Крім того, це дозволило проводити візуальну оцінку рухомого складу безпосередньо з цих приміщень через наявні віконні блоки.

Було розроблено дві схеми розташування датчиків для динамічного обстеження будівлі.

Схема 1- для запису вертикальних коливань перекриття частини А будівлі (відстань від торця будівлі до колії залізниці 30 м) на I-му поверсі будинку (т. №1) та III-му (т. №2).

Схема 2– для запису вертикальних коливань перекриття віддаленої від залізниці частини Б будівлі на I-му поверсі (т. №3) та III-му (т. №4).

Віброметричні обстеження виконувались у відповідності з розробленою методикою в період найбільшого транспортного навантаження – з 17<sup>30</sup> до 21<sup>00</sup> год. Результати вібраційного моніторингу несучих конструкцій будівлі були систематизовані і наведено нижче.

Найбільші віброприскорення перекриттів будівлі були зареєстровані на перекритті III-го поверху частини А будівлі (відстань до колії залізниці 30 м) при проїзді вантажного залізничного потягу. Графік сигналу вертикальних віброприскорень перекриття будівлі та вузькосмуговий спектр, одержані на основі обробки цифрових записів за допомогою спеціалізованої програми, приведені на рис. 2. Зареєстровані середньоквадратичні вертикальні прискорення несучих конструкцій будівлі не перевищують  $a=0,2 \text{ м/с}^2$  ( $20 \text{ см/с}^2$ ) при проїзді вантажного залізничного потягу. Максимальні можливі віброприскорення можуть набувати значень  $\sqrt{2} \cdot a$ , тобто  $A=0,28 \text{ м/с}^2$  ( $28 \text{ см/с}^2$ ).

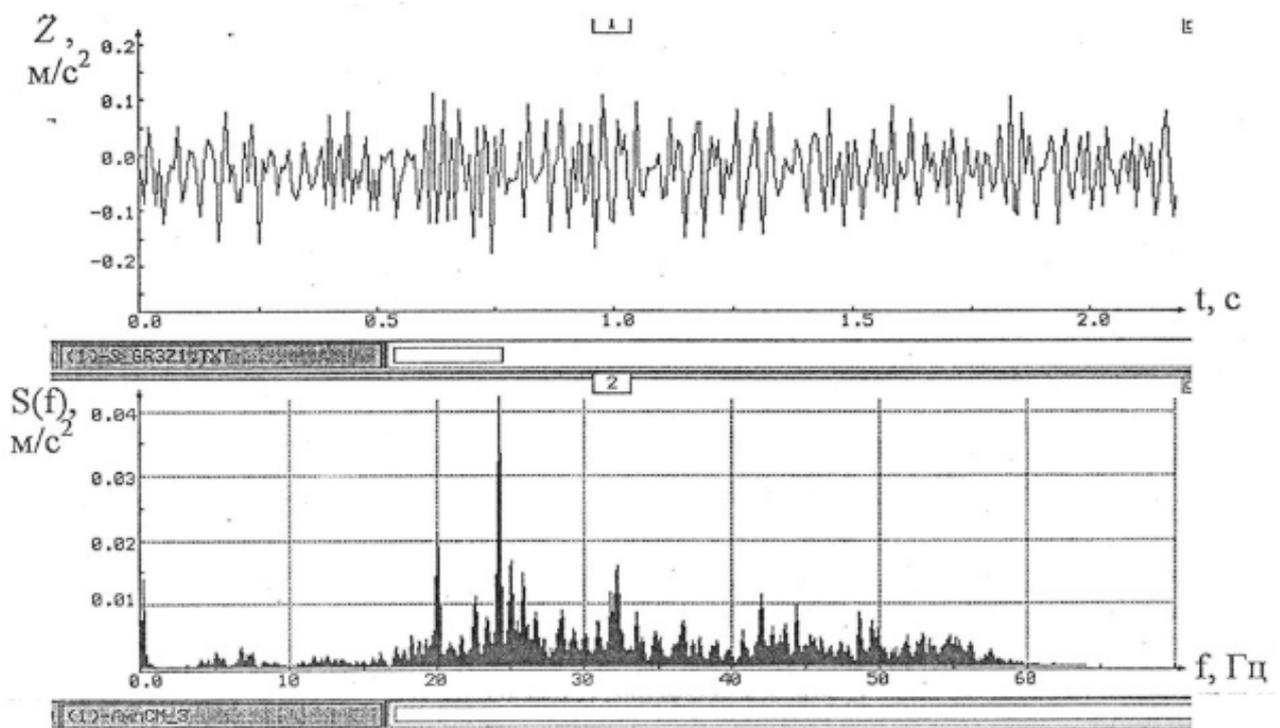


Рис. 2. Графік сигналу вертикальних віброприскорень перекриття III-го поверху частини А будівлі та його вузькосмуговий спектр при впливах вантажного залізничного потягу

На основі виконаного вібромоніторингу несучих конструкцій промислової будівлі зроблено наступні висновки:

→ максимальні значення вертикальних віброприскорень несучих конструкцій будівлі зафіксовані при проїзді вантажних залізничних потягів і не перевищують значень  $A=0,28 \text{ м/с}^2$  ( $28 \text{ см/с}^2$ );

→ при розробленні проекту реконструкції будівлі (передбачена надбудова 2 поверхів) – необхідно приймати вертикальні динамічні складові навантаження на конструкції будівлі (вплив залізничних потягів) рівними 3,0 % від власної ваги будівельних конструкцій та обладнання.

#### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. К. : Мінрегіон України, 2008.
2. ДБН В.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. К. : Мінрегіон України, 2019. 179 с.
3. ДСТУ ГОСТ12.1.012-2008. ССБТ. Вибрационная безопасность.
4. ВСН 490-87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. - Минмонтажспецстрой. М.-1988.
5. PN-B-02170:2016-12. Assessment of harmful effects of ground-transferred vibrations on buildings (Оцінка шкідливого впливу вібрації ґрунту на будівлі).
6. Немчинов, Ю., Мар'єнков, М., Бабік, К. та ін. Нормативні акти в сфері сейсмостійкого будівництва нового покоління. Зміна № 1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». *Наука та будівництво*. 2019. Вип. 19(1). С. 4–17. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v19i1.62>
7. Кудрявцев І.А. Вплив вібрації на основи споруд. – Гомель : БелГУТ, 1999. (рос. мовою).
8. Фаренюк, Г. Белоконь, О., Мар'єнков, М. Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. *Наука та будівництво*. 2022. Вип. 32(2). С. 3–18.

УДК 624.045.12

## CONTROL OF DEFLECTIONS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

*Villacorte Chacon Juan JOSE*<sup>1</sup>, Master's degree 2 years of study  
EPP "Building and Civil Engineering"

**Scientific advisor: Cand. of Tech. Sc., Ass. Prof. Natalia KOSTYRA**<sup>2</sup>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*E-mail: <sup>1</sup> btsi24-ch.villacorte@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> kostyra\_n\_o@nubip.edu.ua*

The Ukrainian Building Code is based on the *limit states design method*. The limit states (states at which the structure becomes unfit for its intended function) are divided into two main groups: those related to collapse and those that disrupt the

use of the structures but do not cause collapse. These are referred to as ultimate limit states and serviceability limit states, respectively. The major serviceability limit states are excessive deflections, undesirable vibrations and excessive cracking.

The adoption of the limit states design method in recent years, accompanied by the use of higher strength concrete and high-grade steel, has permitted the use of relatively shallower members. As a result, deflection calculations gained more importance than they were few decades ago. Excessive deflections of beams and slabs may cause excessive vibrations, damage to the appearance of the structure, poor roof drainage, and uncomfortable feelings for the occupants.

Also, such deflections may damage partitions and cause poor fitting of doors and windows. Therefore, it is very important to maintain control of deflections.

The Code presents the following two approaches for controlling deflection:

- Control of deflection by limiting the span/thickness ratio of the member.
- Control of deflection by calculating the deflection and set limitations to its value.

The first approach indirectly controls the deflection by setting an upper limit for span-to-thickness ratio. It is simple to follow without the need for deflection calculations. However, if smaller members are required, the second approach should be followed by calculating the deflections and comparing the computed values with specific limitations imposed by the code.

Load-Deflection Behavior of RC Beams. Fig. 1 shows the load deflection response of a reinforced concrete beam. Initially, the beam is uncracked and is stiff. With further loads, cracking occur at mid-span when the applied moment exceeds the cracking moment of the beam.

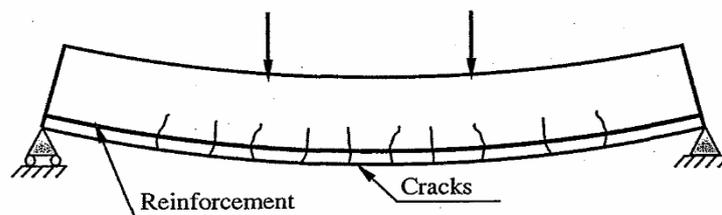
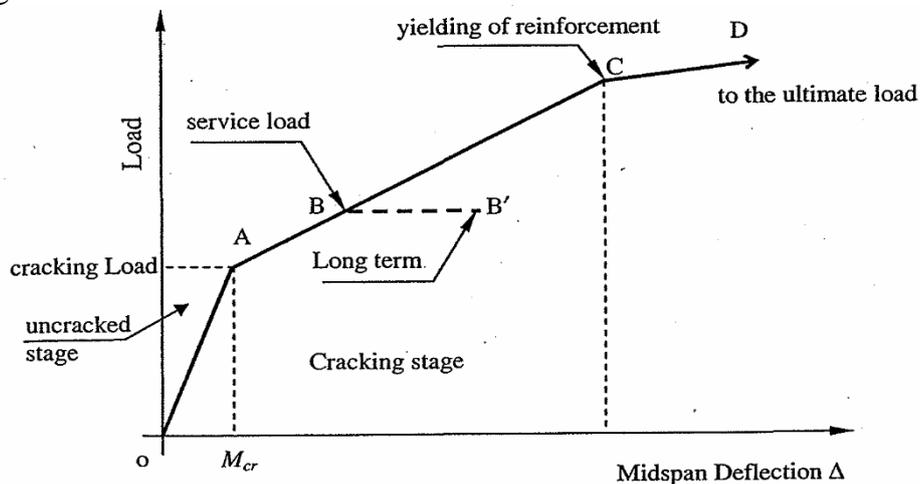


Fig. 1. Load-deflection response

When a section cracks its moment of inertia decreases leading to a significant reduction in the stiffness of the beam. This is the start of the cracking stage. At this stage, the beam continues to carry load but with relatively large deflection. Eventually the reinforcement yields at mid-span leading to a large increase in deflections with little change in load (points *C* and *D*). Since the service load of any member is about 65% of its ultimate load, the service load level of the beam in Fig. 1 can be represented by point *B*. Long-term application of service load (sustained load) results in increasing the deflection from point *B* to *B'*, due to creep of concrete. The short-term, or immediate, deflection under service load (point *B*) and the long-term service load deflection (point *B'*) are both of interest in design and will be discussed later.

Moment of Inertia of RC sections. Gross moment of inertia. As mentioned in the previous, if the applied moment is less than the cracking moment, the section is considered uncracked. In this case, the moment of inertia of the section equals to  $I_g$  (uncracked stage) as shown in Fig. 2.

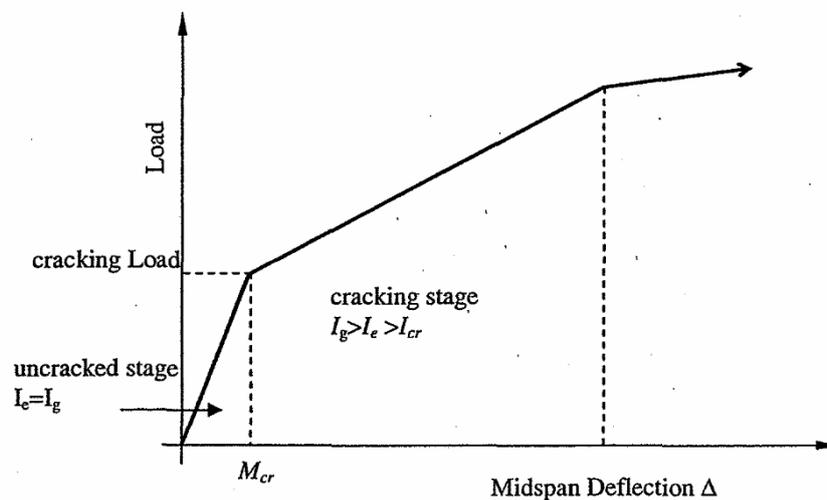


Fig. 2. Moment of inertia in concrete beams

For design purposes, the calculation of the gross uncracked moment of inertia,  $I_g$ , can be carried out by neglecting the cross-sectional area of steel reinforcement (e.g.  $I_g$  for rectangular sections =  $b t^3/12$ ). For normal reinforcement ratios, the error in calculating  $I_g$  does not exceed 10%.

The Codes gives the following formula for calculating the cracking moment:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctr} \cdot I_g}{y_t}, \quad (1)$$

where  $f_{ctr}$  is the concrete tensile strength ( $N/mm^2$ ),  $I_g$  is the gross moment of inertia neglecting the effect of reinforcement ( $mm^4$ ), and  $y_t$  is the distance from the neutral axis to the extreme fiber in tension for the uncracked section ( $mm$ ).

In the Building Codes, the concrete tensile strength  $f_{ctr}$  is given by:

$$f_{ctr} = 0.6 \sqrt{f_{cu}}. \quad (2)$$

For rectangular sections,  $y_t$  equals to half the section thickness. For **T**-sections the reader should pay attention to the direction of the bending moment. Thus, for **T**-

section in cantilever beams the distance  $y_t$  is measured from the top fibers Fig. 3, *a* and for T-sections in simple beams it is measured from the bottom fibers as shown in Fig.3, *b*.

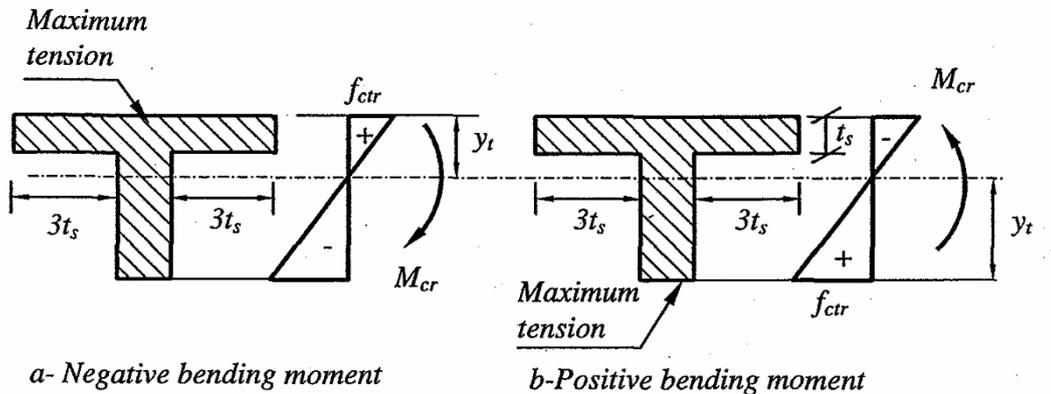


Fig. 3. Determination of the distance  $y_t$  in simple and cantilever T-beams

Conclusion. It is made load-deflection response for calculation reinforced concrete bending elements, which consist by two stages. It is proposed dependencies for calculating the cracking moment and concrete tensile strength. These dependencies are necessary for further determination of deflections RCC.

#### References

1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1 : General rules and rules for buildings. Approved by CEN on 16 April 2004, Brussels, Management Center, European Committee for Standardization, 225 p.
2. Darwin D., Dolan Charles W., Nilson Arthur H. Design of Concrete Structures. Fifteenth Edition, New York, McGr.-Hill Education, 2016, 786 p.
3. Yakovenko I.A. Influence of reinforcement parameters on the width of crack opening in reinforced concrete structures. Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : coll. mon. Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. P. 510–536. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-18>

УДК 624.012.25

### ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ

Андрій МЕЛЬНИЧУК<sup>1</sup>, здобувач вищої освіти 2 року навчання магістратури ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

Науковий керівник: к.т.н., доцент Євген ДМИТРЕНКО<sup>2</sup>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: <sup>1</sup> btsi24-a.melnychuk@nubip.edu.ua; <sup>2</sup> dmytrenko\_yevhen@nubip.edu.ua

Залізобетонні конструкції (ЗБК) широко використовуються у будівництві завдяки їхнім відмінним механічним властивостям та довговічності. Ефективна

взаємодія між бетоном та арматурою можлива завдяки відмінним властивостям зчеплення, що є передумовою їхньої сумісної роботи [6]. Механізм зчеплення ЗБК є надзвичайно складним і включає хімічну адгезію, опір тертя та механічне зчеплення, які доволі важко виміряти безпосередньо [2].

Численні дослідження виявили, що зчеплення арматури з бетоном залежить від багатьох параметрів, які систематизовані у сім основних груп, включаючи геометричні та фізичні параметри армування, фізичні параметри бетону, вид напружено-деформованого стану (НДС), деформаційні параметри, тріщиностійкість та вплив корозії [1]. Проте, існуючі методи визначення дійсної картини НДС у зоні контакту арматури з бетоном часто не враховують усі перелічені групи факторів. Існуючі теоретичні моделі зчеплення часто є напівтеоретичними та напівемпіричними, базуються на спрощених припущеннях (наприклад, рівномірний розподіл напружень або лінійне деформування), що обмежує сферу їхнього застосування та не дозволяє повністю відобразити дійсний механізм еволюції зчеплення. Крім того, наявні емпіричні криві зчеплення–ковзання від різних дослідників мають значні відмінності через різноманітність матеріалів та методів випробувань [3].

З огляду на необхідність побудови більш достовірних моделей, що враховують широкий спектр факторів, та через високу ресурсоемність і часозатратність традиційних експериментальних методів, виникає актуальність застосування новітніх обчислювальних методів, таких як методи машинного навчання (МН) та скінченних елементів (СЕ). Методи машинного навчання, зокрема, можуть безпосередньо виявляти внутрішні зв'язки між вхідними та вихідними даними, оминаючи складні механістичні виведення, і забезпечують високу точність прогнозування в умовах високонелінійних залежностей. Таким чином, інтеграція моделей штучного інтелекту (ШІ) та чисельних методів стає універсальним інструментом для швидкої та надійної оцінки поведінки зчеплення арматури з бетоном [5].

У дослідженні [4] для прогнозування поведінки зчеплення–проковзування арматурних стрижнів у бетоні при статичних та динамічних навантаженнях була застосована ціла плеяда методів – *метод скінченних елементів (МСЕ)*, *глибоке навчання (DL)* та *аналітичні методи*. В якості МСЕ моделі була використана *білінійна когезійна модель*, заснована на законі "тяга–розділення" (traction–separation law), для опису конститутивної поведінки зчеплення–ковзання. Модель включала три стадії: пружну деформацію, початок пошкодження та еволюцію пошкодження. Параметри когезійної моделі були відкалібровані шляхом порівняння з опублікованими експериментальними даними для статичного та динамічного навантаження [4]. Були змодельовані зразки для випробування на висмикування (pull-out) з різними діаметрами арматури (6–16 мм), довжинами анкерування ( $5 \cdot d$  і  $10 \cdot d$ ) та швидкостями навантаження (0.10, 1.00, 5.00 мм/с). Результати МСЕ-моделювання були використані як навчальні зразки-приклади для динамічної рекурентної нейронної мережі NARX (*Nonlinear Autoregressive models with eXogenous inputs*), яка є ефективною для моделювання нелінійних процесів із нестабільними часовими рядами. Вхідними даними були величина проковзування та час, а вихідними — історичні напруження зчеплення

[4]. В результаті, модель NARX продемонструвала високу точність прогнозування порівняно з результатами МСЕ-моделювання. Коефіцієнт кореляції Пірсона  $R$  досяг 0.976 для динамічного та 0.996 для статичного прогнозування. Це підтверджує, що динамічна нейронна мережа NARX може успішно замінити трудовитратне МСЕ-моделювання для прогнозування параметрів зчеплення–проковзування ЗБК.

У дослідженні [5] було запропоновано модель прогнозування, засновану на алгоритмі пошуку горобців *SSA* та екстремальній навчальній машині *ELM*, оптимізованій *SSA-ELM*, для швидкої та ефективної оцінки форм руйнування зразків ЗБК при висмикуванні (pull-out). Для налаштування та навчання даної моделі була зібрана база даних, що містить 399 наборів даних про випробування на висмикування арматури із бетонної матриці (рис. 1).

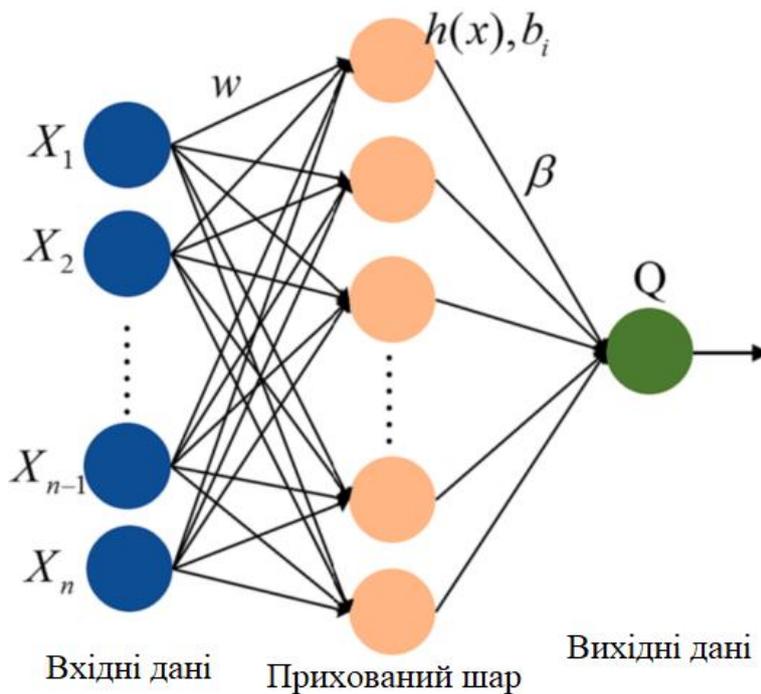


Рис. 1. Структура нейронної мережі моделі ELM

Для підвищення узагальнюючої здатності моделі та уникнення перенавчання використовувався алгоритм Random Forest (RF) для ранжування важливості вхідних параметрів. Обґрунтованість вибору ознак була перевірена за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона та взаємної інформації [5]. Було протестовано дев'ять стандартних класифікаційних ML-моделей (LR, K-NN, DT, SVC, BPNN, NB, RF, AdaBoost, і XGBoost). За результатами проведеного дослідження, оптимізована модель SSA-ELM продемонструвала вищу точність порівняно з усіма іншими протестованими алгоритмами. Точність прогнозування руйнування SSA-ELM досягла 97,1% на навчальному наборі та 95,8% на тестовому наборі. Порівняння SSA з іншими алгоритмами оптимізації (GWO, PSO, GA, ACO) підтвердило, що SSA-ELM має вищу швидкість розпізнавання, точність (95,8%) та кращу узагальнюючу здатність, а також меншу різницю між результатами навчального та тестового наборів.

Найважливішим фактором, що впливає на форму руйнування, було визначено відношення товщини захисного шару до діаметра арматури  $c/d$ . Це надає цінну інформацію для проектування, оскільки дозволяє швидко оцінити очікуваний тип руйнування [5].

Таким чином, розглянуті дослідження підтверджують, що застосування моделей штучного інтелекту є високоефективним та актуальним напрямком для дослідження складного механізму зчеплення арматури з бетоном у ЗБК. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вивчення багатofакторного впливу (наприклад, корозії у поєднанні з циклічним навантаженням), оскільки більшість наявних досліджень зосереджені на одному факторі. Також необхідно вдосконалювати моделі ШІ для подальшого підвищення їхньої стабільності та узагальнюючої здатності, а також розширювати бази даних для застосування до інших типів випробувань, наприклад, балок.

### Список використаних джерел

1. Яковенко І.А., Дмитренко Є.А. Класифікація параметрів та пошук аналітичних залежностей зчеплення арматури з бетоном у залізобетонних конструкціях будівель та споруд. *Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання»*. Київ, Україна: НУБіП України, 2025. С. 533–536.
2. Zheng, Y., Fan, C., Ma, J., & Wang, S. (2023). Review of Research on Bond–Slip of Reinforced Concrete Structures. *Construction and Building Materials*, 385, article number 131437. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131437>.
3. Ромашко О.В., Журавський В.М., Ромашко О.Д. Узагальнена модель зчеплення арматури з бетоном. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2019. Вип. 37. С. 214–221. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2019\\_37\\_28](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2019_37_28)
4. Long X., Li H., Iyela P.M., Kang S. Predicting the bond stress–slip behavior of steel reinforcement in concrete under static and dynamic loadings by finite element, deep learning and analytical methods // *Engineering Failure Analysis*. – 2024. – Vol. 161. – No. 108312. – 35 p. DOI: [0.1016/j.engfailanal.2024.108312](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108312).
5. Fan C., Zheng Y., Wen Y., Sun M. Classification and Prediction of Deformed Steel and Concrete Bond-Slip Failure Modes Based on SSA-ELM Model. *Structures*. 2023. Vol. 57. No. 105131. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105131>
6. Dmytrenko Y., Usenko M., Yakovenko I. Collisions of Strength Determination Modeling for Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Constructions with Small Eccentricities by Normal Sections in Lira-FEM Software. In: Blikharsky Z., Zhelykh V. (Eds.). *Proceedings of EcoComfort 2024. EcoComfort 2024. Lecture Notes in Civil Engineering*. Cham: Springer, 2024. P. 50–63. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_5)

## ЗМІСТ

Стор.

*ТЕМАТИЧНА СЕКЦІЯ*  
*133 «Галузеве машинобудування»*

*С 11 «Машинобудування»*

*С 11.03 «Машинобудування. Технологічні машини та обладнання»*

|   |           |
|---|-----------|
| <i>1. Типові пошкодження елементів коробки переміни передач</i><br><i>М. М. ВАКУЛЕНКО.....</i>                                  | <i>3</i>  |
| <i>2. Обґрунтування конструкції автоматичного захватного пристрою вантажопідіймальних машин</i><br><i>А. О. КОЖЕМ'ЯКІН.....</i> | <i>4</i>  |
| <i>3. Удосконалення системи керування роботом з гідравлічним приводом</i><br><i>К. П. САВЧУК.....</i>                           | <i>6</i>  |
| <i>4. Розробка конструкції та дослідження режиму роботи універсального маніпулятора</i><br><i>Д. Ю. ШАГОВА.....</i>             | <i>7</i>  |
| <i>5. Основні пошкодження автотракторних шин</i><br><i>О. В. ЄВДОКИМОВ.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>6. Основні вибраковочні дефекти колінчастих валів</i><br><i>Р. В. РОМАНЕНКО.....</i>   | <i>10</i> |
| <i>7. Основні пошкодження автотракторних радіаторів</i><br><i>В. В. ТОКАРЧУК.....</i>   | <i>13</i> |
| <i>8. Канальний падіймач-маніпулятор</i><br><i>І. С. ЧАПІЄНКО.....</i>  | <i>16</i> |
| <i>9. Дослідження пошкоджень та відновлення деталей коробки передач колісних тракторів ХТЗ</i><br><i>О. І. МИЛАЦЬКИЙ.....</i>   | <i>18</i> |
| <i>10. Відновлення блоків циліндрів автотракторних двигунів зварюванням</i><br><i>Д. В. СТАРІНЕЦЬ.....</i>                      | <i>20</i> |
| <i>11. Визначення початкових умов моделі технологічного процесу посівного комплексу</i><br><i>Н. О. МІЩЕНКО.....</i>            | <i>23</i> |

|   |    |
|---|----|
| 12. Фактори, що впливають на надійність пневмодвіски і витрату запчастин для автобусів великого класу<br>Р. С. ПАВЛЕНКО.....        | 24 |
| 13. Зниження механічних втрат двигуна за допомогою зміцнення робочої поверхні циліндра<br>С. М. ДЕМЧЕНКО.....                       | 26 |
| 14. Ефективність впровадження логістичних інновацій на сервісному підприємстві<br>О. М. ГАЙДАЙ.....                                 | 28 |
| 15. Стратегії забезпечення працездатності гальмівних систем вантажних автомобілів<br>В. М. СЬОМАКО.....                             | 31 |
| 16. Формування структурно-логічної схеми пункту технічного обслуговування<br>М. В. ЮРЧУК.....                                       | 33 |
| 17. Імплементация принципів циркулярної економіки в аграрному секторі України: техніко-сервісний аспект<br>О. В. КОВРАТОВСЬКИЙ..... | 35 |
| 18. Кількісний аналіз публікацій за темою побудови керування маятникових систем<br>М. В. НАЗАРОВ.....                               | 37 |
| 19. Оптимізація режиму пуску механізму повороту маніпулятора на транспортному засобі<br>Є. В. БОРОВИК.....                          | 38 |
| 20. Динамічний аналіз гвинтового конвеєра для транспортування зерна<br>Є. М. КАРПЕНКО.....  | 40 |
| 21. Динамічний аналіз пневматичного конвеєра для транспортування насіння соняшника<br>Д. Г. ЛАВРІНЕНКО.....                         | 42 |
| 22. Визначення оптимального режиму руху приводного елемента захвату<br>В. В. СТЕФАНІШИН.....  | 44 |

## ТЕМАТИЧНА СЕКЦІЯ

192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
С 19 «Будівництво та цивільна інженерія»

|   |    |
|---|----|
| 1. Види руйнування контакту арматури з бетоном при експериментальних випробуваннях на висмикування                      |    |
| Ольга КОЛОМІЄЦЬ .....   | 47 |
| 2. Аналіз напружено-деформованого стану підлоги ангара від дії значних навантажень великогабаритної техніки             |    |
| Андрій КОМАРОВ .....  | 50 |
| 3. Вплив геометричних параметрів армування та фізичних характеристик бетону та арматури на зчеплення арматури з бетоном |    |
| Аліна КОНДРАТЮК.....  | 52 |
| 4. Сучасні методики моніторингу зони контакту арматури з бетоном при експериментальних випробуваннях                    |    |
| Іван МИРОНЕНКО.....   | 55 |
| 5. Аналіз способів посилення фундаментів цивільних будівель   |    |
| Богдан РИСАК.....   | 59 |
| 6. Обґрунтування раціональної конструктивної схеми покриття споруди стадіону в місті Ужгороді при реконструкції         |    |
| Максим МАЙСТРЕНКО.....  | 63 |
| 7. Вибір раціональної схеми та конструювання сталеві ферми покриття будівлі птахофабрики                                |    |
| Володимир ТУРОВСЬКИЙ.....   | 65 |
| 8. Пошук раціональних способів підвищення енергоефективності цивільних будівель   |    |
| Яків ЩЕРБАК .....   | 68 |
| 9. Визначення енергоефективності оболонки зелених будинків при блокуванні на етапі проектування                         |    |
| Юрій ПОЛЯК, Олег МАРТИНЮК, Денис СТАДНІЙЧУК<br>Станіслав СТАДНИК.....   | 71 |
| 10. Особливості розрахунку і конструювання плити кесонного залізобетонного склепіння                                    |    |
| Юрій ОХРИМЕНКО .....  | 73 |

|  |    |
|--|----|
| <i>11. Алгоритм визначення несучої здатності залізобетонних плит перекриття по пластичних лініях зламу</i><br><i>Денис ПОЛЯК</i> ..... | 76 |
| <i>12. Визначення напружено-деформованого стану типової залізобетонної діафрагми жорсткості</i><br><i>Богдан ФЕДОРЧУК</i> .....        | 79 |
| <i>13. Дослідження вібрації ґрунту та житлового будинку при проїзді трамваїв</i><br><i>Ігор САВРАСОВ</i> .....                         | 81 |
| <i>14. Розробка заходів щодо проведення енергоаудиту при реконструкції спортивного комплексу</i><br><i>Богдан САНЧУК</i> .....         | 84 |
| <i>15. Аналіз способів посилення залізобетонних колон</i><br><i>Владислав ЛОГВИНЕНКО</i> .....   | 87 |
| <i>16. Вібромоніторинг конструкцій промислової будівлі при впливах потягів залізниці</i><br><i>Микола ПИЛИПЕНКО</i> .....              | 90 |
| <i>17. Control of deflections in reinforced concrete structures</i><br><i>Villacorte Chacon Juan JOSE</i> .....                        | 93 |
| <i>18. Застосування моделей штучного інтелекту у дослідженнях зчеплення арматури з бетоном</i><br><i>Андрій МЕЛЬНИЧУК</i> .....        | 96 |

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
І ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«Постери здобувачів вищої освіти магістратури  
спеціальностей G 11 & G 19»**

*<https://doi.org/10.64165/proceeding-G11G19.2025>*

**(06-07 листопада 2025 року)**

*Укладачі: Іван РОГОВСЬКИЙ, Руслан БІЛЕЦЬКИЙ*

*Відповідальний за випуск:*

*Іван РОГОВСЬКИЙ – декан факультету конструювання та дизайну  
Національного університету біоресурсів і  
природокористування України.*

*Редактор – Іван РОГОВСЬКИЙ.*

*Дизайн і верстка – кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М. П. Момотенка Національного університету  
біоресурсів і природокористування України.*

*Адреса факультету конструювання та дизайну –  
03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12<sup>б</sup>, НУБіП України,  
навч. корп. 11, кімн. 305.*

---

Підписано до друку 04.06.2019. Формат 60×84 1/16.

Папір Maestro Print. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman та Arial.

Друк. арк. 8,5. Ум.-друк. арк. 8,6. Наклад 150 прим.

Зам. № 9239 від 04.11.2025.

Редакційно-видавничий центр НУБіП України  
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15. т. 527-80-49, к. 117

---

© НУБіП України, 2025.

---