

**ВІДГУК**  
**офіційної опонентки**  
**доктора технічних наук, професора САЛЕНКО Юлії Сергіївни**  
**на дисертацію ПИРЛИКА Максима Олександровича**  
**на тему: «Обґрунтування параметрів безінерційного принавантажувача**  
**з автономним віброзбуджувачем для доущільнення бетонних сумішей»,**  
**подану на здобуття ступеня доктора філософії**  
**зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**  
**галузі знань 13 «Механічна інженерія»**

**Актуальність обраної теми дослідження.**

Сучасний етап розвитку будівельної індустрії України, пов'язаний із необхідністю відновлення та модернізації об'єктів житлової, промислової й інженерної інфраструктури, зумовлює зростання потреби у високоякісних бетонних і залізобетонних виробах. Особливого значення набуває виробництво збірних елементів інженерних мереж, зокрема залізобетонних кілець для водопровідних, каналізаційних, дренажних та оглядових колодязів. Надійність і довговічність таких виробів значною мірою визначаються якістю ущільнення бетонної суміші, однорідністю її структури, ступенем видалення повітряних включень та рівномірністю розподілу компонентів у всьому об'ємі виробу.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Пирлика М. О., мають достатній ступінь теоретичного й експериментального обґрунтування. Їх достовірність забезпечується логічною послідовністю виконаного дослідження, коректним формулюванням мети і завдань, обґрунтованим вибором методів дослідження, а також поєднанням аналітичного моделювання, чисельно-аналітичних розрахунків, лабораторних експериментів і виробничих випробувань.

Теоретичну основу роботи становлять положення класичної теорії коливань механічних систем, механіки суцільних середовищ, теорії хвильових процесів, реології в'язкопружних і багатофазних середовищ та теорії динамічної взаємодії робочих органів вібраційних машин із бетонною сумішшю. Для опису досліджуваного процесу розроблено математичну модель системи «вібраційна форма – бетонна суміш – безінерційний привантажувач», у якій враховано інерційні, пружні та дисипативні характеристики складових системи, спільну дію основної вібраційної форми й автономного віброзбуджувача, а також нерівномірність передавання коливального впливу по висоті бетонного виробу.

Достатній рівень достовірності експериментальних результатів забезпечено застосуванням методів математичного планування експерименту, регресійного аналізу та математичної статистики. Використання трирівневого плану експерименту дало змогу побудувати регресійну модель другого порядку з урахуванням лінійних і квадратичних складових та взаємодії досліджуваних факторів. Це дозволило кількісно оцінити вплив маси привантажувача і кутової частоти обертання дебалансів на вертикальну амплітуду коливань, встановити характер зміни вихідного параметра та визначити раціональні режими роботи обладнання.

Обґрунтованість практичних рекомендацій підтверджується створенням дослідного зразка безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем, проведенням його виробничих випробувань, розробленням методики технічного розрахунку установки та оцінюванням економічної ефективності впровадження. Висновки за окремими розділами й загальні висновки дисертації логічно впливають із результатів теоретичних та експериментальних досліджень, відповідають поставленій меті й охоплюють усі визначені в роботі завдання.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

– набули подальшого розвитку конструктивні рішення привантажувачів для доущільнення бетонних сумішей шляхом використання

автономного віброзбуджувача, який забезпечує додатковий локальний динамічний вплив на верхні шари суміші під час формування бетонних і залізобетонних виробів;

- розроблено математичну модель динамічної системи «вібраційна форма – бетонна суміш – безінерційний привантажувач», яка враховує пружно-дисипативні властивості ущільнюваного середовища, взаємодію основної форми й автономного привантажувача, а також комбінований вертикально-горизонтальний характер вібраційного впливу;

- встановлено закономірності впливу конструктивних і режимних параметрів установки, зокрема маси привантажувача, жорсткості пружних елементів, частоти автономного віброзбуджувача та параметрів основної вібраційної системи, на амплітудно-частотні характеристики й інтенсивність доущільнення бетонної суміші;

- отримано аналітичні залежності для визначення амплітуд вертикальних коливань, прискорень і динамічного тиску безінерційного привантажувача на бетонну суміш, що дало змогу обґрунтувати раціональні конструктивні параметри та режими роботи обладнання;

- удосконалено підхід до оцінювання ефективності комбінованого вібраційного ущільнення шляхом урахування нерівномірності передавання коливань по висоті виробу, порогової умови подолання внутрішнього опору бетонної суміші, узгодження частот основної форми та привантажувача, а також додаткового динамічного навантаження у верхній зоні виробу;

- дістали подальшого розвитку методи технічного розрахунку вібраційних установок для формування бетонних виробів, доповнені визначенням параметрів автономного робочого органу локального доущільнення та умов його ефективної взаємодії з основною формувальною системою.

**Практичне значення і впровадження одержаних результатів дослідження.**

Одержані в дисертаційній роботі Пирлика М. О. результати мають практичне значення для вдосконалення технологій та обладнання, призначених для формування бетонних і залізобетонних виробів. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень здобувачем розроблено конструкцію безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем, застосування якого забезпечує додатковий локальний динамічний вплив на верхні шари бетонної суміші.

Практичну цінність має запропонована методика технічного розрахунку установки з безінерційним привантажувачем, яка дає змогу ще на стадії проектування визначати й узгоджувати геометричні, конструктивні, динамічні та технологічні параметри основної вібраційної форми, автономного привантажувача і бетонного середовища.

За результатами досліджень створено експериментально-дослідний зразок безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем і проведено його перевірку у складі формувальної установки.

Виробничі випробування дослідного зразка проведено в умовах ТОВ «Виробниче підприємство Будмеханізація» у м. Полтаві. Їх результати підтвердили працездатність, технологічну доцільність і практичну придатність запропонованого технічного рішення для формування бетонних та залізобетонних виробів, зокрема кільцевих елементів інженерних мереж.

### **Загальна характеристика структури і змісту дисертації.**

Дисертаційна робота Пирлика М. О. є завершеним науковим дослідженням, структура якого відповідає поставленій меті та послідовності розв'язання визначених наукових завдань. Робота викладена на 195 сторінках і складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел і додатка. Дисертація містить розрахункові схеми, графіки, таблиці, тривимірні моделі, фотографії експериментального обладнання та матеріали виробничого впровадження, що забезпечує належну наочність представлених результатів.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено його об'єкт і предмет, наведено використані методи, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Також подано відомості про особистий внесок здобувача, апробацію результатів, публікації за темою дисертації та впровадження розроблених положень. Зміст вступу загалом відображає логіку дослідження та дає цілісне уявлення про науково-технічне завдання, яке розв'язується в роботі.

У першому розділі «Стан проблеми вібраційного формування бетонних і залізобетонних виробів та задачі дослідження» виконано аналіз сучасних методів формування та ущільнення бетонних сумішей. Розглянуто конструктивні особливості вібраційного обладнання для виготовлення залізобетонних виробів, проаналізовано наявні методи розрахунку параметрів вібраційних установок та систематизовано конструкції привантажувачів. Автором визначено основні переваги й недоліки відомих технічних рішень та обґрунтовано доцільність застосування безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем для інтенсифікації ущільнення верхніх шарів бетонної суміші. За результатами аналізу сформульовано мету і завдання подальших досліджень.

Другий розділ «Теоретичне обґрунтування параметрів безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем для доущільнення бетонних сумішей» є основним теоретичним розділом дисертації. У ньому наведено передумови створення установки, сформульовано прийняті припущення та постановку задачі, розглянуто конструктивну схему обладнання для формування залізобетонних елементів інженерних мереж. Виконано аналітичне обґрунтування параметрів привантажувача та комбінованого вертикально-горизонтального впливу на бетонну суміш.

У межах другого розділу розроблено динамічну модель системи «вібраційна форма – бетонна суміш – безінерційний привантажувач», проведено аналіз її амплітудно-частотних характеристик, визначено власні

частоти та умови виникнення резонансних режимів. Автором сформульовано просторовий критерій ефективності, порогову умову початку ущільнення, умови оптимального узгодження частот та квазірезонансного доущільнення на завершальній стадії процесу. Окремо розраховано горизонтальні амплітуди коливань по висоті форми, вертикальні амплітуди привантажувача, прискорення та динамічний тиск на бетонну суміш, а також створено тривимірну модель установки.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження вібраційної установки для формування залізобетонних елементів інженерних мереж» представлено програму та методику експериментальних досліджень. Наведено опис конструкції лабораторної установки з основною вібраційною формою і безінерційним привантажувачем, охарактеризовано засоби вимірювання та особливості проведення дослідів. Виконано аналіз режимів ущільнення бетонної суміші з використанням методів математичного планування експерименту, проведено статистичну обробку результатів і встановлено вплив досліджуваних факторів на параметри коливального процесу. Результати експериментів використано для перевірки теоретичних положень і визначення раціональних режимів роботи обладнання.

Четвертий розділ «Інженерне впровадження результатів та оцінка економічної ефективності системи» має виражену практичну спрямованість. У ньому сформульовано основні положення проєктування і конструювання установки, виконано техніко-технологічне обґрунтування режимів ущільнення та розроблено послідовність технічного розрахунку обладнання. Представлено результати виробничих випробувань дослідного зразка безінерційного привантажувача, наведено рекомендації щодо подальшого вдосконалення його конструкції та оцінено економічну ефективність упровадження. Виробничі випробування проведено на базі ТОВ «Виробниче підприємство Будмеханізація» у реальних умовах формування бетонних і залізобетонних виробів.

У загальних висновках узагальнено основні результати теоретичних, експериментальних і виробничих досліджень. Вони логічно пов'язані з поставленими завданнями, відображають установлені закономірності, обґрунтовані параметри, результати створення дослідного зразка та практичну ефективність запропонованого обладнання. Додаток містить матеріали, що підтверджують упровадження результатів дисертаційної роботи.

Загалом дисертація Пирлика М. О. має логічну, послідовну й методично обґрунтовану структуру.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.**

Дисертація є самостійною науковою роботою, результати й досягнення котрої було отримано автором самостійно. Усі сформульовані в ній положення та висновки обґрунтовано на основі власних авторських досліджень з посиланнями на актуальні й сучасні наукові джерела. На тему дисертаційної роботи здобувачем опубліковано 9 наукових праць, у тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 4 тези наукових доповідей в збірниках матеріалів всеукраїнських та міжнародних конференцій.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам.** Дисертація «Розроблення високоефективного комбінованого імпульсно-вібраційного обладнання для формування стінових панелей» відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Змістове наповнення розділів дисертації узгоджується з темою кожного з розділів, що робить зміст дисертації відповідним темі роботи. Висновки, сформульовані автором на основі проведеного дослідження є чіткими,

доведеними та підтвердженими. Оформлення дисертації відповідає встановленим нормативними документами вимогам.

Анотація до дисертації повною мірою відповідає її змісту, структурі та основним результатам. Вона стисло, проте інформативно передає суть дослідження, його актуальність, наукову новизну, мету, завдання та практичну значущість. Текст анотації відповідає вимогам академічного стилю, логічний, граматично і стилістично коректний.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації.**

Загалом позитивно оцінюючи дисертацію М.О. Пирлика, вбачається за доцільне звернути увагу на окремі положення та висновки дисертації, що потребують уточнення або додаткової аргументації, та можуть слугувати підґрунтям наукової дискусії, зокрема:

1. Аналітичний огляд конструкцій привантажувачів доцільно було б доповнити кількісним порівнянням розглянутих технічних рішень. У роботі наведено класифікацію та опис переваг і недоліків різних схем, проте відсутня узагальнена система критеріїв, за якими обрано саме конструкцію з автономним віброзбуджувачем.

2. У математичній моделі бетонну суміш представлено через узагальнені пружні та дисипативні характеристики, однак недостатньо розкрито зміну цих параметрів у процесі ущільнення.

3. Комбінований вертикально-горизонтальний характер динамічної дії детально обґрунтовано теоретично, проте його експериментальна перевірка могла бути ширшою.

4. Потребує детальнішого обґрунтування методика визначення еквівалентних коефіцієнтів жорсткості та демпфування бетонної суміші. У теоретичній моделі вони подані як параметри, що залежать від амплітуди коливань і робочої частоти, проте недостатньо зрозуміло, яким способом визначалися їх числові значення для конкретної бетонної суміші: за експериментальними діаграмами, відомими емпіричними залежностями чи шляхом ідентифікації моделі.

5. Формула визначення динамічного тиску привантажувача потребує уточнення щодо характеру контактної взаємодії. Розрахунок за відношенням динамічної сили до площі робочого органа фактично дає усереднений тиск.

6. Як основний вихідний параметр експерименту прийнято вертикальну амплітуду коливань привантажувача, яка є переважно динамічним, а не безпосередньо технологічним показником. Доцільно було б використати комплексний критерій оптимізації, який одночасно враховував би щільність, пористість, міцність, однорідність по висоті, тривалість формування та питомі енерговитрати.

7. У викладенні експериментальної методики доцільно було б детальніше подати інформацію про повторюваність дослідів і метрологічне забезпечення вимірювань.

8. Основну увагу приділено усталеним коливальним режимам, тоді як перехідні процеси досліджено недостатньо. Під час запуску та зупинки автономного віброзбуджувача система проходить через частотні діапазони, у яких можливе короткочасне зростання амплітуд, порушення контакту, виникнення ударних навантажень і підвищених напружень у пружних елементах. Особливо важливим є аналіз проходження через резонансні режими, які розглядаються в теоретичній частині роботи.

Висловлені зауваження та рекомендації характеризують складність дослідженої проблеми та суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку та науково-практичну значущість.

Загальний висновок та оцінка дисертації. Вищенаведене свідчить про високий рівень наукової компетентності М.О. Пирлика у досліджуваній проблематиці. Дисертація виконана відповідно до встановлених вимог до подібних наукових праць, засвідчує наявність у здобувача дослідницьких та аналітичних здібностей і містить аргументований авторський доробок за темою дослідження. Дисертація є самостійним, завершеним, оригінальним науковим дослідженням, виконаним на актуальну тему, що містить нові науково обґрунтовані результати проведених досліджень, які розв'язують

конкретне наукове завдання, а саме: підвищення ефективності формування бетонних і залізобетонних виробів шляхом теоретичного та експериментального обґрунтування конструктивних, динамічних і режимних параметрів безінерційного привантажувача з автономним віброзбуджувачем, що забезпечує інтенсифікацію доущільнення верхніх шарів бетонної суміші, підвищення рівномірності її ущільнення по висоті виробу та покращення якості готової продукції.

Отже, дисертація М.О. Пирлика на тему: «Обґрунтування параметрів безінерційного принавантажувача з автономним віброзбуджувачем для доущільнення бетонних сумішей» за змістом, обсягом, актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значущістю здобутих результатів відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) і Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року (з наступними змінами).

З огляду на зазначене Пирлик Максим Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційна опонентка професор,  
кафедри машинобудування  
Кременчуцького національного  
університету імені  
Михайла Остроградського,  
доктор технічних наук, професор

Юлія САЛЕНКО