ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

СЛІПЕЦЬКОГО ВОЛОДИМИРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

на тему **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ»**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

133 – Галузеве машинобудування

Розгляд дисертації СЛІПЕЦЬКОГО ВОЛОДИМИРА ВОЛОДИМИРОВИЧА на тему «Обґрунтування параметрів віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів», та його наукових публікацій, дозволяє здійснити загальну оцінку роботи, а саме: актуальність, обґрунтування наукових положень, наукову новизну, практичне значення, загальні висновки і рекомендації.

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Віброформувальне обладнання заводів будівельної індустрії та полігонів по виготовленню бетонних виробів являється основним технологічним устаткуванням, від якого залежить ефективність та якість виконання технологічного процесу. У комплекті віброформувального обладнання домінуюча роль належить вібраційним майданчикам та вібраційним установкам, що здійснює процес ущільнення бетонної суміші. Здебільшого це машини, які працюють у зарезонансному режимі, що спричиняє витратам значної кількості енергії, а це у свою чергу призводить до великих енерговитратних машин. У сучасному економічному стані актуальною є проблема пошуку рішень розробки машин і процесів із мінімізацію витрат енергії із реалізацією високої якості виконання технологічного процесу. У роботі представлена ідея застосування вібраційних майданчиків та установок, які працюють у резонансному, енергоощадному режимі. Розробка даного технологічне обладнання вимагає точного обчислення параметрів у резонансному режимі, оскільки неточність

забезпечення такого режиму призводить до непередбачувальних випадків – виходу із ладу приводу машин. У дисертаційній роботі Сліпецького В. В. для вирішення даної проблеми пропонується побудова математичної моделі на основі дослідження взаємодії і взаємовпливу між собою підсистеми робочий орган вібраційної машини і підсистеми – ущільнююче середовище. Такий підхід є гарантією забезпечення виникнення резонансного режиму із відповідними технологічними параметрами, які реалізують ефективний процес виготовлення бетонних виробів. Даний підхід є оригінальним, а результати дисертаційного дослідження є актуальними.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації визначається коректними передумовами та припущеннями на використанні загальноприйнятих положень класичної теорії механіки суцільного середовища, а також механічних коливань багатомасових систем із дискретними та континуальними параметрами і математичним моделюванням досліджуваних резонансних вібраційних майданчиків та вібраційних установок. Результати дисертаційного дослідження ґрунтуються на основі розгляду динамічних процесів руху системи «машина–середовище» під дією вібраційних навантажень.

Достовірність основних положень дисертації підтверджується:

- обґрунтованим вибором розрахункових моделей, в яких ущільнююча бетонна суміш представлена системою у вигляді реологічної моделі із розподіленими параметрами, а робочий орган вібраційної машини – коливальною системою із зовнішнім силовим збудженням робочого органу;
- здійсненими достатнім обсягом експериментальних досліджень по визначенню пружно–інерційних (реактивних) та дисипативних (активних) сил опору технологічного середовища та їх використання в алгоритмах розрахунку параметрів вібраційних майданчиків та технологічного

устаткування для забезпечення заданих технологією параметрів процесу виготовлення бетонних виробів.

Наукова новизна одержаних результатів

До найбільш важливих результатів дисертаційної роботи, що мають вагому наукову новизну відносяться:

– аналітичні залежності для визначення параметрів ущільнюючої бетонної суміші в загальній математичній моделі взаємодії системи «робочий орган вібраційної установки - ущільнююче середовище»;
– встановлені закономірності зміни динамічних параметрів руху системи «робочий орган вібраційної установки та ущільнюючого середовища» із реалізацією резонансного режиму із мінімізацією робочої енергії;
– отримані аналітичні залежності для обґрунтування вибору робочих параметрів віброформувального технологічного обладнання, визначення основних експлуатаційних параметрів досліджуваних вібраційних технологічних установок, застосування яких забезпечують резонансний режим із мінімізацією робочої енергії.

Практичне значення одержаних результатів заключається у:

– розробці методики й алгоритму розрахунку робочих параметрів резонансних вібраційних установок для виготовлення бетонних виробів;
– вдосконалення методики дослідження робочих режимів та технологічних параметрів змішаних дискретно–континуальних вібраційних систем.

Повнота викладу матеріалів дисертаційного дослідження в опублікованих наукових працях

Результати дисертаційного дослідження підтверджується апробацією отриманих результатів у 13 наукових працях, опублікованих протягом 2018-2022 рр. Серед яких: 2 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 4 – які цитуються у реферативній базі «Scopus»; 2 у періодичних

наукових іноземних виданнях, п’ять тез наукових доповідей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Оцінка змісту, стилю й мовлення тексту дисертації, її завершеності та загального оформлення

На відгук представлена дисертація, що складається з анотації, вступу, чотирьох розділів із висновками, наукових публікацій за темою дисертаційного дослідження, а також списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 163 сторінки, в тому числі 123 сторінки основного тексту, в якому 44 рисунки, 14 таблиць, 8 сторінок списку використаних джерел із 116 найменуваннями, 28 сторінок додатків, з яких одна сторінка містить акт впровадження.

У **«Вступі»** дисертаційної роботи приведено актуальність обраної теми та її зв’язок із науково-дослідними програмами, сформульовано мету та задачі досліджень, вказано об’єкт і предмет дослідження, висвітлено методи, які використані у процесі виконання роботи. Приведені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, відомості про публікації та апробацію результатів дослідження, особистий внесок здобувача, а також обсяг і структуру роботи.

Перший розділ **«Огляд та аналіз параметрів і режимів віброформувального обладнання»** присвячений оцінці процесу укладання та ущільнення бетонних сумішей, аналізу існуючого віброформувального обладнання та оцінка методів визначення робочих режимів і параметрів ущільнення бетонних сумішей. Визначено, що технологічний процес віброущільнення містить значну зміну реологічних властивостей бетонної суміші. Для математичного моделювання цих змін виділено три види динамічного руху частинок бетонної суміші: індивідуальний; спільний – коливальний рух бетонної суміші, як суцільної системи; рівномірний – переміщення частинок від одного положення рівноваги в інше, що відбувається переважно в поверхневому шарі. На основі проведеного аналізу досліджень

щодо виявлення фізичної природи процесу ущільнення автор дисертації робить висновок, що процес ущільнення на стадії є умовним, оскільки звичайно всі стадії протікають певною мірою одночасно і взагалі протікання процесу вібраційного ущільнення залежить від чималої кількості технологічних факторів: складу бетонної суміші та її рухомості, режимів руху системи, параметрів вібрації тощо. Виходячи із загального погляду на процес віброущільнення автор зазначає, що варто враховувати режими і параметри вібраційних майданчиків та технологічних установок, які є основним віброформувальним обладнанням підприємств будівельної галузі.

Другий розділ **«Теоретичні дослідження робочого процесу руху вібраційного обладнання»** присвячено теоретичним дослідженням динаміки резонансних та мультирежимних технологічних віброустановок на основі попереднього обґрунтування розрахункової моделі та визначені методики складання рівняння руху вібраційної системи «машина-середовище». У якості вихідних даних застосовується модель оброблювального середовища із розподіленими (континуальними) властивостями, а також якісної оцінки процесу розповсюдження хвиль порівняно із періодом коливань робочого органу машини. Здійснено аналіз математичної моделі на основі хвильових рівнянь (2.5), (2.6) і (2.7). Зазначено, що рівняння (2.5) описує рух суміші як пружного тіла, а рівняння (2.6) описує рух суміші, як пружно–в'язкого тіла із частотою, що залежить від розсіювання енергії. Рівняння (2.7) описує рух бетонної суміші, як пружно–в'язкого тіла із частотою, що не залежить від розсіювання енергії. У подальших дослідженнях автор використовує рівняння (2.7) в аналітичних дослідженнях динаміки руху систем віброустановок. Виконанні аналітичні дослідження та отримані на їх основі формули для визначення основних параметрів дозволили привести графіки зміни цих параметрів та встановити закономірності руху динамічної системи «резонансна вібраційна установка–бетонна суміш». Доведено, що бетонна суміш суттєво впливає на зміну параметрів робочого органу і цей факт необхідно враховувати в практичних розрахунках. Здійснено теоретичні дослідження параметрів багаторежимної

віброустановки. Використаний підхід використання впливу зсуву фаз на процес ущільнення за рахунок того, що дебаланси віброблоків (див. рис. 2.10), які розташовані вздовж осі *Y*, мають відносне положення відносно осі *X* із певними кутами. Зокрема, за один оберт валу форма з бетонною сумішшю буде сприймати чотири силових впливи. Для реалізації поєднання вібраційних та ударних навантажень між блоками і формою, встановлюються пружні елементи (гумові прокладки). Завдяки такому конструктивному рішенню реалізується багаторежимна робота системи, де окрім коливань, які створюються по осі *X*, виникає і поздовжнє коливання по осі *Y*. Моделювання робочого процесу вібраційної установки виконувалося на основі використання методу скінченних елементів із застосуванням розрахункового комплексу MSC.NASTRAN (MSC.Software, Німеччина). При перевірці міцності і визначенні функціонування технологічної системи, на яку діють навантаження прикладені в різних механічних сполученнях, автором на початку проаналізовано динаміку руху конструкції при найпростіших навантаженнях, а потім ускладнювали їх із додаванням інших силових збуджень. Виявлено низку різних за формою та числовими значеннями амплітуд коливань по площі вібраційної установки. Отриманий результат досліджень, за яким складна форма коливань є ефективним методом прискореного ущільнення бетонних сумішей, є новим. Результати обчислень підтверджують зменшення енерговитрат та час, що витрачається на процес формування бетонного виробу. Наявність різних форм спектру підтверджується формами коливань та розподілом амплітуд коливань поверхні форми по довжині конструкції за один період коливань.

Третій розділ **«Експериментальні дослідження робочого процесу руху віброустановок»** включає мету, задачі, методику та результати експериментальних досліджень. Виходячи із мети задачами експериментальних досліджень було визначено вихідні дані та вимірювальні параметри (маси рухомої рами віброустановки та бетонної суміші; коефіцієнти пружності елементів віброустановки; амплітуда коливань; частота обертання робочого органу віброустановки; потужність; загальний час ущільнення бетонної суміші

та її склад). Нарівні із виконанням натурного експерименту методикою передбачено проведення обчислювального експерименту із використанням комп'ютерних систем для оцінки багаторежимного технологічного процесу, реалізованого на віброустановці зі зміною фазових віброзбуджувача. Вважаю такий підхід є обґрунтованим, оскільки при правильному плані проведення комп'ютерного експерименту відкривається можливість отримати велику кількість даних стану технологічної системи уцілому, що і було здійснено в роботі. Важливим процесом аргументованих результатів досліджень є вибір та обґрунтування методів визначення пружно–інерційних та дисипативних параметрів віброустановки і характеристик бетонної суміші. Успішний підхід до вибору та обґрунтуванню методів дозволив автору отримати в аналізі порівняння експериментальних та теоретичних значень за параметрами процесу коливань прийнятну збіжність результатів обчислень в межах 11-15% у резонансній зоні режиму роботи віброустановки.

Четвертий розділ **«Практична реалізація результатів досліджень та оцінка їхньої ефективності»** складається із приведених числових значень параметрів вібраційної установки для реалізації відповідного режиму. Також приведені алгоритми вибору та методики розрахунків параметрів віброустановки з числовим прикладом розрахунку віброударної резонансної віброустановки.

Загальні висновки

Загальні висновки по результатам дисертаційної роботи представлені в логічній послідовності із акцентами на отримання наукових і практичних результатів. Найважливішим висновком дисертаційної роботи є встановлення закономірностей руху динамічної системи «резонансна вібраційна установка–бетонна суміш» та системи «багаторежимна віброустановка-бетонна суміш» із наведеними числовими значеннями очікуваного зменшення енерговитрат на 30% та зменшення часу процесу формування бетонного виробу на 20%.

У цілому, на основі детального ознайомлення зі змістом роботи та науковими

працями, а також узагальнюючи оцінку роботи, можна зазначити наступні основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження:

1. Із першого розділу варто відмітити не тільки елементи огляду та аналізу проблеми дослідження, але й огляд технологічних та конструктивних параметрів відомих технологічних вібраційних систем із побудовою гістограм зміни критеріїв експлуатації в залежності від типу вібромайданчика.

2. У теоретичних дослідженнях використаний підхід зведення дискретно-континуальної системи до типової дискретної із збереженням хвильових фізичних явищ, а також виконаний синтез динамічної системи «вібраційні установки–бетонна суміш». Також варто відмітити, що динамічний процес у системі «машина–бетонна суміш» розглядався єдиним вібраційним рухом із урахуванням взаємодії та оцінкою взаємовпливу досліджуваних підсистем між собою.

3. Автор дисертаційної роботи володіє сучасними методами аналізу та вибору методики експериментальних досліджень, результати яких приведені в третьому розділі, а числові значення отриманих пружно–інерційних та дисипативних технологічних параметрів віброустановки та бетонної суміші є свідченням сучасного коректного підходу до наукових досліджень.

4. Важливим практичним результатом є розроблені рекомендації щодо вибору ефективних робочих режимів та проєктних параметрів технологічної вібраційної установки, а також розроблені алгоритми та методики розрахунків параметрів віброустановок із гармонійними та віброударними резонансними режимами роботи.

Зауваження і побажаннях до дисертаційної роботи

Оригінальна та змістовна робота не лишена зауважень та побажань:

1. У меті бажано вказати який вид параметрів (проєктний, робочий) віброформувального обладнання повинно бути обґрунтовано у роботі.
2. У постановці мети використано одразу два ключових взаємозамінних слова «взаємодія» і «взаємовплив», які є синонімами, тому бажано було б

залишити якесь одне із них. Також у меті бажано було б використати ключове слово «ефективність», що дозволяє об’єктивно оперувати реальними оціночними параметрами результатів дисертаційного дослідження.

3. У науковій новизні вказано про мінімізацію енергії, але у роботі не представлена цільова функція оптимізації енергії.
4. У практичній новизні необхідно вказати, що методика розрахунку є проєктною.
5. У представленій математичній моделі процесу вібраційного коливання бетонної суміші бажано було б врахувати зміну положення центру мас формувальної суміші, що у свою чергу значно впливає на загальні динамічні параметри системи.
6. У моделюванні робочого процесу вібраційної установки методом кінцевих елементів, за допомогою розрахункового комплексу MSC.NASTRAN, бажано було б навести граничні і початкові умови обчислень.
7. На рисунках схем, результатів моделювання робочого процесу вібраційної установки методом кінцевих елементів, бажано було б навести кольорові градієнти числових значень вимірюваних величин.
8. На осцилограмах (віброграми) бажано було б вказати вісі абсцих та ординат експериментально-вимірюваних величин.
9. Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень бажано було б показати на основі обчислень конкретних величини за допомогою використання формул абсолютної та відносної похибок.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії»

Дисертація Сліпецького Володимира Володимировича «Обґрунтування параметрів віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,

наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зокрема пп. 5, 6, 7, 8, 9 і є завершеною, самостійною науковою працею, отримані результати якої свідчать про важливий внесок в науку.

Загальний висновок

Підсумовуючи усе вищезазначене, можна стверджувати про високий рівень виконання здобувачем теоретичних та експериментальних досліджень та глибоке оволодіння методологією та методами виконання наукової діяльності. Наукова значущість отриманих теоретичних та експериментальних досліджень дозволяє визначити представлену роботу як таку, що вирішує важливу наукову проблему розробки віброформувального обладнання, що дозволяє забезпечити мінімізацію витрат енергії із реалізацією високої якості виконання технологічного процесу виготовлення бетонних виробів.

Вважаю, що дисертація «Обґрунтування параметрів віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів» подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування є завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії …», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, та напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) з вищезазначеної спеціальності, а її автор, Сліпецький Володимир Володимирович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент,
д. т. н., проф., професор кафедри
комп'ютерних наук Вінницького
національного технічного університету Ярослав ІВАНЧУК

Секретар Вченої ради Інна ВІШТАК