

Є.А. Васильєв, Д.В. Тараненко

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ПРОТОТИП КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОГО ГРАВІТАЦІЙНОГО БЕТНОЗМІШУВАЧА ПРИМУСОВОЇ ДІЇ

У статті представлено експериментальне дослідження прототипу мобільного гравітаційно-примусового бетонозмішувача та прототипу мобільного бетонозмішувача гібридної гравітаційно-примусової дії. Методологія включала модернізацію гравітаційного змішувача інтеграцією нерухої центральної осі з змінними лопатями та проведення порівняльних випробувань. Основні результати продемонстрували, що посилення примусового впливу П-подібними лопатями збільшує енергоспоживання на 30%, але скорочує час змішування на 33% порівняно з базовим режимом, при цьому пікове навантаження (495 Вт) не перевищує номінальну потужність двигуна (550 Вт). Запропонована конструкція є гнучким та енергоефективним рішенням для приготування високоякісних сумішей на будівельних майданчиках.

Ключові слова: змішувач, гравітаційний, примусовий, суміш, малогабаритність, лопатка, вісь, енергоефективність, продуктивність, однорідність суміші.

Постановка проблеми

Розробка нових інструментів для розвитку будівельної галузі завжди було актуальною темою для досліджень. Одним із головних факторів є саме приготування будівельних матеріалів, які будуть перетворювати на готовий продукт у вигляді якісно змішаної суміші за короткий час.

Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених оптимізації окремих типів змішувачів, залишається недостатньо вивченою гібридні гравітаційно-примусові системи, особливо в сегменті малогабаритного мобільного обладнання. Більшість існуючих публікацій або розглядають промислові установки значної продуктивності, або обмежуються теоретичним описом потенційних переваг гібридних конструкцій без наведення конкретних експериментальних даних.

Зокрема, відсутні систематичні дослідження, які б кількісно пов'язували конструктивні параметри додаткових елементів (наприклад, форму та розмір нерухомих лопатей) з енергетичними характеристиками змішувача та якістю (швидкістю) приготування суміші. Існує потреба в експериментальному підтвердженні параметрів таких систем, що дозволило б розробити практичні рекомендації для створення гнучкого та адаптивного обладнання, здатного працювати в різних режимах залежно від технологічних потреб.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз науково-технічної літератури свідчить про значну кількість виконаних досліджень на дану тематику, наукові праці орієнтовані на питання

підвищення ефективності бетонозмішувального обладнання. Науковці Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» зробили значний внесок у цю сферу. Роботи Онищенко О.Г. та співавторів [1] описані принципи контролю якості на будівельному майданчику ефективного транспортування та укладання матеріалів, що є важливим для розуміння енергетики процесу.

Коробко Б.О. [2, 3] досліджено якість процесу інтенсивного перемішування, моделюючи робочі процеси та розрізняючи поняття макро- та мікрозмішування. Макрозмішування відповідає за переміщення великих об'ємів розчину, тоді як мікрозмішування відбувається при русі суміші по робочих органах (стрічках, лопатках), що забезпечує гомогенізацію на локальному рівні. Ці дослідження підкреслюють важливість конструкції робочих органів для досягнення однорідності суміші.

Закордонні дослідження також активно розвивають напрямок механічної оптимізації. Ngo H.-T. та A. Kasi [4] дослідили ефективність енергоспоживання під час перемішування бетону, зосередившись на оптимізації тривалості процесу. Їхня робота показала, що традиційний підхід із фіксованим часом змішування часто призводить до зайвих витрат енергії. S. Garneoui [5] в своїй роботі провів глибокий аналіз порівняння ефективності конструктивних особливостей лопатевих та шнекових змішувачів, зокрема його робота широко розкриває чисельні моделювання для вивчення різних параметрів (кут нахилу лопатей, форма лопатей, швидкість обертання, ступінь заповнення змішувача) впливу на якість змішування. N. Salloum та співавтори

[6] дослідили режими змінної швидкості обертання, їхні дослідження про зміну швидкості змішування фармацевтичних порошків, що допомагають при вертикальному русі частинок суміші і не дозволяють суміші сегрегувати в стаціонарних потоках рідини. Н. Nadeem та співавтори [7] представили інноваційний індекс змішування, методологію, що передбачає визначення якості змішування за рахунок відбору проб. Сао К. та співавтори [8] зосередили своє дослідження на темі міцності композитних цементних матеріалів. Mokhtar A., Nasooti M.A [9] створили модель для системного оцінювання та порівняння різних аспектів енергоефективності. Widhate P. [10] дослідження комбінованого руху з нахилом осі змушувало частинки до додаткового переміщення від поєднання радіального та осевого руху, що ефективно зменшувало зони сегрегації і сприяло швидкому досягненню однорідності суміші. Hlosta J. та співавтори [11] дослідили за допомогою методу дискретних елементів (DEM) прогнозування поведінки частинок суміші в барабанному змішувачі, дослідження базувалось в проведенні паралельних експериментів в комп'ютерній симуляції та в реальному змішувачі, де вони досягли успішної валідації результатів обох показників. Lisowski P. та Glinicki M. [12] в оглядовій статті узагальнили сучасні дослідження екологічних цементних матеріалів та систематизували інноваційні методи виробництва низькоклінкерних цементів.

Узагальнюючи, проведений аналіз досліджень свідчить про різні підходи і способи підвищення оптимізації існуючих конструкцій (лопатеві та шнекові) та їх окремих параметрів (час, енергоспоживання). Дані дослідження моделюють процеси та шукають способи підвищення ефективності в різних аспектах дослідів. Однак, проблематика в створенні малогабаритної установки, яка б поєднувала гравітаційний та примусові впливи, залишається нерозглянутою. Хоча зв'язок між енергоспоживанням та геометрією робочих органів розглядався в роботах дослідників, бракує експериментальних даних, які б підтверджували пряму кореляцію між дослідженими змішувачами і гібридними системами. Ключовим підходом у даному дослідженні буде саме спрямоване на розробку та технічну реалізацію нової конструкції з інтегрованою віссю та змінними робочими органами, яка є технічно реалізованою та як передбачається здатна поєднати переваги обох принципів.

Мета статті

Метою даного дослідження є експериментальна верифікація та оптимізація конструктивно-технологічних параметрів прототипу мобільного гравітаційного бетонозмішувача примусової дії.

Базуючись на попередніх теоретичних дослідженнях та результатах, отриманих при створенні попередньої конструкції, робота спрямована на практичне підтвердження ефективності поєднання гравітаційного та примусового принципів змішування в єдиній конструкції.

Ключова увага була зосереджена на експериментальному визначенню оптимальних режимів роботи, що забезпечують максимальну якість змішування сучасних будівельних сумішей при мінімальних енергетичних затратах, тим самим підтверджуючи або уточнюючи попередні розрахункові дані. Додатковим завданням була оцінка надійності ключових вузлів конструкції в умовах реальної експлуатації та аналіз можливостей для подальшого зменшення металоємності без втрати продуктивності, спираючись на досвід, отриманий з попереднім прототипом.

Виклад основного матеріалу

В якості об'єкта для дослідження було обрано типовий представник класу малогабаритних гравітаційних змішувачів, які в більшості за своєї конструкцією не відрізняються. Його основні технічні характеристики: геометрична місткість барабана – 125 л, об'єм готового замісу – до 100 л, номінальна потужність електродвигуна – 550 Вт, частота обертання барабана – 30 об/хв «Рис. 1» [13].



Рис. 1. Малогабаритний змішувач в загальному вигляді:

- 1 – рама конструкції; 2 – поворотна рукоятка; 3 – верхній напівбак; 4 – опорна (центральна) вісь; 5 – блок двигуна; 6 – колесо; 7 – нижній напівбак

Оригінальна конструкція працює за класичним гравітаційним принципом: барабан, що обертається, закріплений на короткому консольній центральній (опорній) осі, забезпечує вертикальний рух суміш за допомогою внутрішніх лопатей, після чого вона падає під власною вагою. Для реалізації гібридної гравітаційно-примусової дії було проведено модернізацію ключових вузлів.

Процес модернізації полягав у перетворенні пасивної осі обертання на нерухомий робочий елемент. Для цього було створено центральні наскрізні отвори у дні барабана та в кришці, що закривала його нижню частину [14].

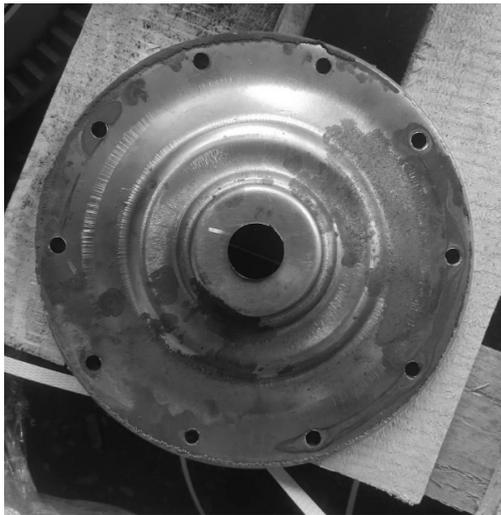


Рис. 2. Нижня внутрішня кришка барабану з виконаним отвором під центральну (опорну) вісь

Коротку оригінальну вісь було повністю демонтовано «Рис. 3». Замість нього було виготовлено та встановлено довга, нерухома центральна вісь, яка стала основою для нової системи. Ця вісь проходить крізь весь барабан і жорстко кріпиться до рами конструкції «Рис. 4».

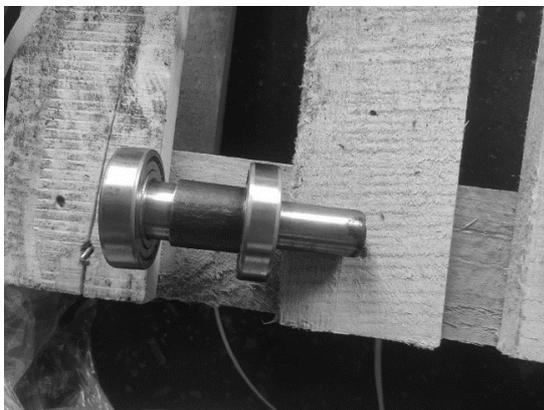


Рис. 3. Центральна вісь на більшості змішувачів



Рис. 4. Нова встановлена центральна вісь

Для захисту центральної осі від контакту з абразивними вclusions, які містяться у суміші та для герметизації, на нього встановлюється захисна труба, яка знизу герметично приварюється до модифікованої нижньої кришки барабана. На верхній, нерухомій частині центральної (опорної) осі було передбачено кріплення для встановлення змінних робочих органів (лопатей), що забезпечують примусове перемішування, яке також захищене захисною кришкою «Рис. 5».

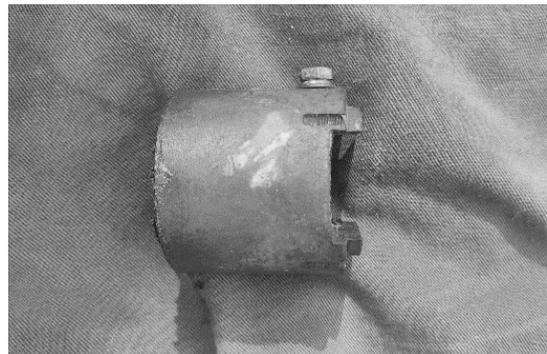


Рис. 5. Захисна кришка верхнього підшипника

У подальшому проводилися досліді з різним наборами змінних лопатей.

Методологією проведення дослідів було визначення необхідного часу для досягнення гомогенності суміші. Тобто завчасно підготовлені будівельні матеріали такі як пісок (річковий з модулем крупності 3 мм), цемент (Портландцемент М300), вода (водопровідна питна вода) і заповнювач (5 – 10 мм). Спочатку завантажувався цемент і половина частки води для утворення суспензії, поступово з однаковими інтервалами додавався пісок, а потім за визначений проміжок часу (4 хв) після завантаження останнього компонента (заповнювача) визначався час для стабілізації показників вагметра і візуальна однорідність суміші.

Загальний об'єм замісу становив 75 – 80% від загальної місткості барабану. Водоцементне відношення зберігалось відповідно від 0,5 до 0,55 для отримання однаково рухомої суміші у всіх трьох експериментах. Після кожного експерименту, барабан ретельно промивався і завантажувалися нові компоненти.

Дослід з гравітаційним режимом (без додаткових лопатей) «Рис. 6». У цьому режимі з центральної (опорної) осі були демонтовані всі додаткові робочі органи, і установка працювала як класичний гравітаційний змішувач. Перемішування відбувалося виключно за рахунок природного обвалення суміші під дією сили тяжіння та її підйому лопатями, жорстко закріпленими на стінках барабану. Енергоспоживання під час роботи було найбільш стабільним і в середньому становило 345 Вт і з піком в 390 Вт. Цей режим є найбільш енергоефективним, однак для досягнення однорідної консистенції суміші, після завантаження останнього компонента, знадобився найбільший час порівняно з іншими режимами (7 хв 10 с). За допомогою стандартної фізичної формули ми можемо визначити кількісну оцінку спожитої енергії.

$$E = P_{avg} \cdot t_{cycle h}, \quad (1)$$

де E – спожита енергія за цикл, (Вт · год);

P_{avg} – середня миттєва потужність Вт;

$t_{cycle h}$ – загальний час циклу із завантаженням до моменту однорідності, год.

$$t_{cycle h} = t_{cycle} / 60, \quad (2)$$

де t_{cycle} – загальний час циклу із завантаженням до моменту однорідності, с.

$$t_{cycle h1} = t_{cycle1} / 60 = 11,166 / 60 = 0,1861. \quad (3)$$

Оскільки в даному дослідженні потужність не є сталою, а змінюється з часом і фіксується у вигляді діапазонів для дискретних інтервалів, для точного розрахунку використовуються наступні похідні формули:

$$P_{avg} = (\sum_{i=1}^n P_i) / n, \quad (4)$$

де P_i – миттєва потужність, виміряна в i -ту секунду;

n – загальна кількість вимірювань.

$$E_1 = P_{avg1} \cdot t_{cycle h1}, \quad (5)$$

$$E_1 = 345.159 \cdot 0.185 = 64,234 \text{ Вт} \cdot \text{год}. \quad (6)$$

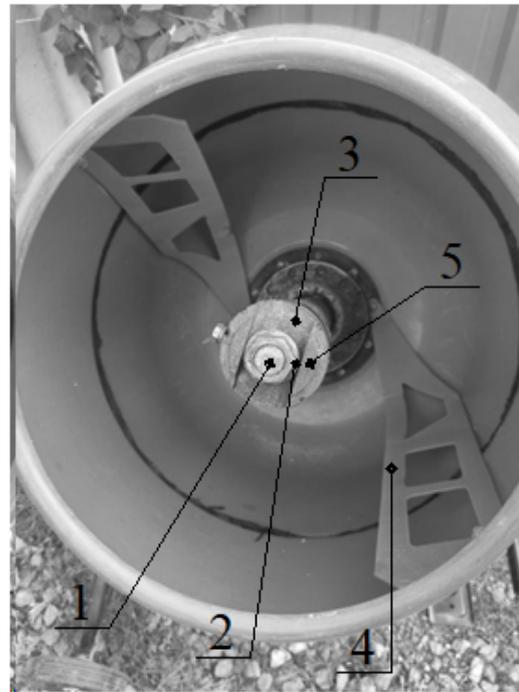


Рис. 6. Гравітаційний режим (без додаткових лопатей):

1 – різьба на центральній осі; 2 – гайка затискання робочих органів, 3 – посадочне місце під кріплення лопатей, 4 – внутрішня лопатка барабану, 5 – захисна кришка

Дослід із комбінованим режимом роботи з сітчастими лопатями «Рис. 7». На нерухому центральну (опорну) вісь, де передбачене кріплення було встановлено лопаті сітчастого типу, виготовлені у вигляді зварної зрізаної конусної рами із арматурної сталі товщиною 4 мм і нижніми лопатками для збудження увішних шарів розчину на дні барабану. Зовні прикріплена сітка із сталевого дроту за допомогою змінних хомутів, що забезпечує надійність кріплення і також швидку зміну сітки. Сам типаж сітки, тобто товщина дроту або розміри комірок може бути різним в залежності від необхідних поставлених задач для суміші, в даному випадку було використано сітку товщиною в 2 мм з розміром комірки 50x50 мм. Встановлення цих елементів суттєво інтенсифікувало процес перемішування, а розмір комірок дозволяв вільному проходженню часточок крупного заповнювача, крізь сітку що унеможливило його «застрягання» в лопатях та створенні агломерацій у порожнині барабану. Головною ідеєю роботи даних лопатей було створення робочого органу для посилення гравітаційно примусового впливів за рахунок сітчастої структури, яка б створювала значний опір руху суміші, ефективно розбиваючи грудки та сприяючи кращому розподілу компонентів, особливо крупного заповнювача за

рахунок падіння суміші на лопатки. До уваги також бралася технологічність виготовлення та можливість багато варіативності встановлення різного набору сіток із різним розміром комірок та товщиною дроту. Використання даних лопаток призвело до помітного зростання енергоспоживання під час перемішування найбільш в'язкої маси на початковому етапі, яке коливалося в межах 400 Вт і з піком в 485 Вт·год, необхідний для досягнення якісного замісу, після завантаження останнього компонента, помітно скоротився (4 хв 55 с), що свідчить про підвищення продуктивності установки.

$$E_2 = P_{avg2} \cdot t_{cycle h2}, \quad (7)$$

$$t_{cycle h2} = 8.91/60 = 0,1486, \text{ год}, \quad (8)$$

$$E_2 = 401,65 \cdot 0,1485 = 59,645 \text{ Вт} \cdot \text{год}. \quad (9)$$

Це підтверджує, що чисто гравітаційний метод (без додаткових лопатей) є менш продуктивним.

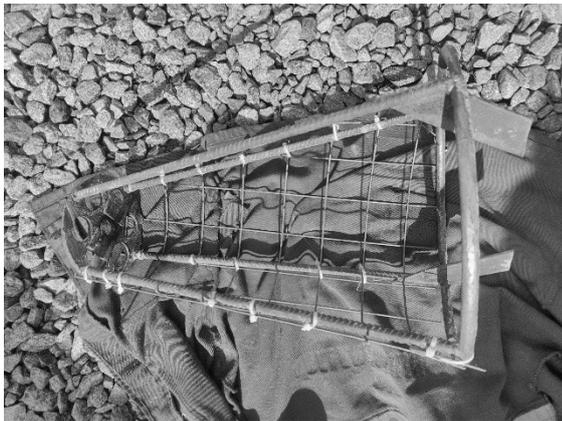


Рис. 7. Лопаті сітчастого типу

Дослід з комбінованим режимом із П-подібними лопатями «Рис. 8-9». Виготовлені з металевих пластин товщиною 4 мм та шириною 40 мм скріплені між собою поперечною траверсою під кріплення на центральній (опорній) вісі. Кріплення до траверси виконані у вигляді приварених шпильок до лопаток, які проходять крізь отвори у траверсі і затискаються гайками. Це дозволяє отримати можливість налаштувати кути прорізання суміші стосовно її руху та отримати більше даних в послідовних експериментах. Важливо зауважити, що в досліді використовувалися різні конфігурації кутів повороту лопатей, однак для подальшого аналізу було обрано конфігурацію, що створювала найбільший опір. Саме ці результати є найбільш показовими, оскільки вони демонструють роботу механізму в умовах максимального навантаження.



Рис. 8. П-подібні лопаті симетричної конфігурації



Рис. 9. П-подібні лопаті несиметричної конфігурації



Рис. 10. Ватметр в момент найвищого пікового навантаження

Використання з'єднаних металевих лопатей з траверсою у вигляді П-подібної форми із симетричним розташуванням лопатей під кутом 90° забезпечило найінтенсивніше перемішування. Ці лопаті активно "прорізували" та перевертали шари

суміші, створюючи постійний примусовий рух, який ефективно доповнював гравітаційне падіння. Цей режим продемонстрував найвищі показники енергоспоживання, що сягали 450 Вт і 495 Вт під час пікових навантажень «Рис. 10».

Однак, завдяки такій високій інтенсивності, час приготування однорідної суміші був найкоротшим серед усіх трьох експериментів (3 хв 30 с).

$$E_3 = P_{avg3} \cdot t_{cycle\ h3}, \quad (9)$$

$$t_{cycle\ h3} = 7,5/60 = 0,125, \quad (10)$$

$$E_3 = 452,107 \cdot 0,125 = 56,513 \text{ Вт} \cdot \text{год}. \quad (11)$$

Це однозначно підтверджує, що посилення примусового впливу значно прискорює досягнення необхідної гомогенності суміші.

Важливо, що навіть у цьому найбільш інтенсивному режимі споживана потужність (495 Вт) не перевищувала номінальну потужність двигуна (550 Вт), що свідчить про достатній запас потужності приводу.

Таким чином, після модернізації змішувач почав працювати за гібридним принципом. Барабан, що обертається продовжує виконувати функцію гравітаційного змішування (макроперемішування), тоді як маса суміші, що обертається, змушена проходити через нерухомі лопаті, закріплені на центральній (опорній) осі. Це створює ефект примусового перемішування (мікроперемішування): суміш "прорізається", розбиваються агломерати та інтенсивно перемішуються шари.

Висновки

Проведене дослідження з розробки та експериментальний аналіз його роботи в різних режимах дозволяють зробити наступні висновки: запропонована конструктивна модернізація, що полягає в інтеграції нерухомої центральної осі зі змінними робочими органами, є технічно реалізованою та ефективною. Вона дозволяє успішно поєднати в одній малогабаритній установці переваги гравітаційного та примусового принципів змішування. Експериментально підтверджено пряму кореляцію між інтенсивністю примусового впливу (геометрією лопатей) та енергоспоживанням установки. Перехід від чисто гравітаційного режиму (345 Вт із піком 390 Вт з часом змішування 11 хв 10 с) до застосування лопатей сітчастого типу (400 Вт із піком в 485 Вт з часом змішування 8 хв 55 с.) збільшує споживану потужність до 16% і скороченням часу до 20%. А використання комбінованого з П-подібними лопатями (450 Вт із піком в 495 Вт з часом змішування в 7 хв 30 с.)

призводить до зростання споживаної потужності приблизно на 30%, що супроводжується значним скороченням часу змішування на 33%, в порівнянні звичайного гравітаційного режиму. Розроблена гібридна конструкція демонструє покращені результати. На відміну від традиційних змішувачів, що працюють лише в гравітаційному режимі, дана експериментальна установка дозволяє не обирати між збільшення продуктивності та енергоефективності, шляхом простої заміни лопатей. Це робить її перспективним інструментом, придатним для широкого кола досліджень – від приготування простих розчинів до високоякісних бетонних сумішей. Малогабаритний бетонозмішувач гравітаційно-примусової дії успішно заповнює технологічну сходинку між простими гравітаційними та дорогими примусовими установками.

Література

1. *Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві* / О. Г. Онищенко, С. Ф. Пічугін, В. О. Онищенко та ін. — Полтава : ТОВ АСМУ, 2011. — 520 с.
2. Korobko, B. Test method for rheological behavior of mortar for building work / B. Korobko, Ie. Vasyliiev // *Acta mechanica et automatica*. – 2017. – № 11/3 (41). – P. 173 – 177. DOI: <https://doi.org/10.1515/ama-2017-0025>.
3. Коробко Б. О. *Основи створення енергоефективних технологічних комплектів обладнання для шукатурних робіт : автореф. дис.... д-ра техн. наук* : 05.05.02. Харків, 2016. 40 с.
4. Ngo H.-T., Kaci A., Kadri E.-H. & Remond, S. Energy consumption reduction in concrete mixing process by optimizing mixing time. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 139, № 13. P. 810–816. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.293>.
5. Garneoui S. *Mixing efficiency of paddle and screw mixers [Text] : PhD dissertation / Seifeddine Garneoui*. — Gödöllő: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, 2024. — 99 p. DOI: <https://doi.org/10.54598/004720>.
6. Salloum N., Brinz T., Atxutegi A. et al. Design and optimization of stirrer and mixer design for the correct mixing of pharmaceutical powders through DEM. *Powder Technology*. 2024. Vol. 449. Article 120413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120413>.
7. Nadeem N., Subramaniam S., Nere N. K. et al. A particle scale mixing measurement method using a generalized nearest neighbor mixing index. *Advanced Powder Technology*. 2023. Vol. 34, № 2. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2022.103933>.
8. Cao, K., Liu, G., Li, H., & Huang, Z. Mechanical properties and microstructures of Steel-basalt hybrid fibers reinforced Cement-based composites exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 341. Art. 127730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127730>.
9. Mokhtar A., Nasooti M. A decision support tool for cement industry to select energy efficiency measures. *Energy Strategy Reviews*. 2020. Vol. 28. Art. no. 100458. DOI: [10.1016/j.esr.2020.100458](https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100458).
10. Widhate, P., Baxter, J., Khan, J., & Glen, S. *Mixing of particles in a rotating drum with inclined axis of rotation*.

Processes. 2020. Vol. 8, iss. 12. Art. 1688. DOI: 10.3390/pr8121688.

11. Hlosta, J., Žurovec, D., Rozbroj, J., Kelbl, A., Nečas, J., & Ščučka, J. DEM Investigation of the Influence of Particulate Properties and Operating Conditions on the Mixing Process in Rotary Drums: Part 2—Process Validation and Experimental Study. Processes. 2020. Vol. 8, iss. 2. Art. 184. DOI: 10.3390/pr8020184.

12. Lisowski P., Glinicki M. A. Novel Processing Methods of Low-Clinker Multi-Component Cementitious Materials—A Review. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, iss. 2. Art. 899. DOI: 10.3390/app14020899.

13. Vasyliiev I. Taranenko D. Mobile compact gravity-force concrete mixer. Academic Journal Industrial Machine Building Civil Engineering. 2024. Vol. 2, № 63. P. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2024.63.3879>.

14. Пат. 156153 Україна, МПК (2006.01) B28C 5/16. Мобільний гравітаційний бетонозмішувач примусової дії / Є.А. Васильєв, Д.В. Тараненко; заявник і патентовласник – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – u202305777; заявл. 01.08.2023; опубл. 15.05.2024, Бюл. № 20.

References

- High-performance technologies and complex structures in industrial and civil engineering / O. H. Onyshchenko, S. F. Pichuhin, V. O. Onyshchenko et al. — Poltava : ASMI, 2011. — 520 p.
- Korobko, B., & Vasyliiev, Ie. (2017). Test method for rheological behavior of mortar for building work. *Acta mechanica et automatica*, 11(3), 173–177. <https://doi.org/10.1515/ama-2017-0025>
- Korobko, B. O. (2016). Fundamentals of creating energy-efficient technological sets of equipment for plastering works : abstract Dis.... Doctor of Engineering. Sciences: 05.05.02. Kharkiv, 2016. 40 p.
- Ngo, H.-T., Kaci, A., Kadri, E.-H., & Remond, S. (2017). Energy consumption reduction in concrete mixing process by optimizing mixing time. *Energy Procedia*, 139, 810–816. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.293>
- Garneoui S. Mixing efficiency of paddle and screw mixers [Text] : PhD dissertation / Seifeddine Garneoui. — Gödöllő: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, 2024. — 99 p. DOI: <https://doi.org/10.54598/004720>.
- Salloum, N., Brinz, T., Atxutegi, A., Prieto, A., Calvo, A., Unamuno, I., Antón, R., & Elosegui, I. (2024). Design and optimization of stirrer and mixer design for the correct mixing of pharmaceutical powders through DEM. *Powder Technology*, 449, Article 120413. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120413>
- Nadeem, N., Subramaniam, S., Nere, N. K., & Davis, R. H. (2023). A particle scale mixing measurement method using a generalized nearest neighbor mixing index. *Advanced Powder Technology*, 34(2), Article 103933. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2022.103933>
- Cao, K., Liu, G., Li, H., & Huang, Z. (2022). Mechanical properties and microstructures of Steel-basalt hybrid fibers reinforced Cement-based composites exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 341, Article 127730. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127730>
- Mokhtar, A., & Nasooti, M. (2020). A decision support tool for cement industry to select energy efficiency measures. *Energy Strategy Reviews*, 28, Article 100458. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100458>
- Widhate, P., Baxter, J., Khan, J., & Glen, S. (2020). Mixing of particles in a rotating drum with inclined axis of rotation. *Processes*, 8(12), Article 1688. <https://doi.org/10.3390/pr8121688>
- Hlosta, J., Žurovec, D., Rozbroj, J., Kelbl, A., Nečas, J., & Ščučka, J. (2020). DEM Investigation of the Influence of Particulate Properties and Operating Conditions on the Mixing Process in Rotary Drums: Part 2—Process Validation and Experimental Study. *Processes*, 8(2), Article 184. <https://doi.org/10.3390/pr8020184>
- Lisowski, P., & Glinicki, M. A. (2024). Novel Processing Methods of Low-Clinker Multi-Component Cementitious Materials—A Review. *Applied Sciences*, 14(2), Article 899. <https://doi.org/10.3390/app14020899>
- Vasyliiev, I., & Taranenko, D. (2024). Mobile compact gravity-force concrete mixer. *Academic Journal Industrial Machine Building Civil Engineering*, 2(63), 73–78. <https://doi.org/10.26906/znp.2024.63.3879>
- Pat. 156153 Ukraine, IPC (2006.01) B28C 5/16. Mobile forced-action gravity concrete mixer / Y.A. Vasyliiev, D.V. Taranenko; applicant and patent owner – National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic” – u202305777; application filed on 01.08.2023; published on 15.05.2024, Bulletin No. 20.

Автор: ВАСИЛЬЄВ Євген Анатолійович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки.
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Ievhen VASYLIEV,
PhD (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics.
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»
E-mail – vas.eugene@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5133-3989>

Автор: ТАРАНЕНКО Дмитро Валерійович
аспірант, кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки.
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Dmytro TARANENKO
postgraduate student, Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics.
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»
E-mail – dimas.20d@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8680-749X>

PROTOTYPE DESIGN OF A MOBILE GRAVITY FORCED-ACTION CONCRETE MIXER

Vasyliiev Ievhen^{1*}, Taranenko Dmytro²

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

²National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

The article experimentally investigated the optimisation of the design and technological parameters of the proposed prototype of a mobile gravity concrete mixer of forced action (volume 125 l, power 550 W). The research



methodology consisted of modernising a typical gravity mixer by integrating a stationary central axis with replaceable working bodies and conducting comparative experimental tests across three key modes to assess their effectiveness. The main results demonstrated a direct correlation between the intensity of forced action, energy consumption and productivity. Comparative tests were conducted in three modes: 1) purely gravitational, 2) combined with mesh blades, 3) combined with P-shaped blades, with the time to achieve homogeneity and energy consumption fixed. The direct dependence between the intensity of forced action and productivity was experimentally confirmed. In the basic gravitational mode, the average energy consumption was 345 W and the cycle time was 11 min s. Using mesh blades increased power to 400 W, reducing cycle time by 20%. The most intensive mode with P-shaped blades demonstrated the highest efficiency: at an average power of 450 W (peak 495 W), the cycle time was reduced by 33% to 7 min 30 s. At the same time, the peak load did not exceed the motor's rated power, confirming the reliability of the design. Despite the higher instantaneous power, the intensive mode proved the most energy-efficient, reducing total energy consumption per batch from 64.2 Wh to 56.5 Wh, thanks to a significant reduction in operating time. The transition from purely gravitational to the most intensive hybrid mode increased power consumption by 30%, which directly correlated with a considerable increase in homogenization process efficiency, resulting in reduced cooking time. The proposed hybrid design is a technically feasible and highly efficient solution that allows the installation to be adapted to different types of mixtures, ensuring mixing quality close to that of stationary forced systems while maintaining the mobility and accessibility of gravitational analogues.

Keywords: mixer, gravitational, forced, mixture, small size, blade, axis, energy efficiency, productivity, mixture homogeneity.

Стаття отримана: 06.10.2025

Стаття опублікована: 19.12.2025

Стаття пройшла рецензування: 26.11.2025