

АНОТАЦІЯ

Рудик Р.Ю. Обґрунтування параметрів роботи автономного універсального мобільного малогабаритного обладнання для приготування бетону. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

У будівельній галузі зростає потреба у підвищенні ефективності технологічних процесів приготування бетонних сумішей безпосередньо в умовах будівельного майданчика. Особливо актуальним є застосування автономного, мобільного та малогабаритного обладнання, здатного працювати за відсутності стаціонарного електропостачання та забезпечувати стабільну якість бетонної суміші при мінімальних енергетичних витратах.

Аналіз існуючих конструкцій бетонозмішувачів показав, що традиційні гравітаційні змішувачі, у яких процес перемішування здійснюється за рахунок лопаток та обертання барабана, не забезпечують достатньої інтенсивності перемішування, що призводить до подовження тривалості циклу, підвищення енерговитрат і утворення ділянок з недостатньою однорідністю суміші.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності процесу змішування є застосування осциляційного руху барабана, який дозволяє активізувати внутрішні потоки бетонної суміші, покращити взаємодію її компонентів та зменшити налипання матеріалу на стінки робочого органу. Водночас вплив параметрів осциляційного руху на технологічні та енергетичні показники роботи бетонозмішувачів залишається недостатньо дослідженим.

У зв'язку з цим у дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу обґрунтування параметрів роботи автономного універсального мобільного малогабаритного обладнання для приготування бетонних сумішей з осциляційним рухом барабана, спрямовану на підвищення ефективності змішування, зниження енерговитрат та забезпечення високої якості бетонної суміші в умовах будівельного майданчика.

Об'єктом дослідження є автономне універсальне мобільне малогабаритне обладнання для приготування бетону та його конструктивні особливості.

Предметом дослідження є процеси приготування бетонних сумішей за допомогою автономного мобільного обладнання, вплив конструктивних і технологічних параметрів на якість суміші та енергоефективність роботи.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності приготування бетонної суміші в умовах будівельного майданчика шляхом застосування універсального мобільного малогабаритного обладнання з осциляційним рухом барабану і обґрунтування раціональних параметрів його роботи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше експериментально встановлено закономірності впливу осциляційного руху барабана та амплітуди зміни кута його нахилу на технологічні й енергетичні показники гравітаційного бетонозмішувача, зокрема на однорідність бетонної суміші, продуктивність, міцність бетону та споживану потужність;

- вперше отримано експериментально-теоретичні залежності, що описують зміну продуктивності бетонозмішувача залежно від частоти осциляцій, частоти обертання барабана та амплітуди зміни кута його нахилу, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку ефективності процесу змішування;

- вперше розроблено математичну модель процесу змішування бетонної суміші в гравітаційному бетонозмішувачі шляхом урахування осциляційного руху барабана та формування активних зон змішування в робочому об'ємі, що дало змогу точніше описати рух компонентів суміші та оцінити ефективність їх взаємодії;

- вперше експериментально обґрунтовано раціональні параметри роботи бетонозмішувача з осциляційним рухом барабана: амплітуду зміни кута нахилу барабана $25\text{--}35^\circ$, частоту обертання $30\text{--}40$ об/хв, частоту осциляцій $8\text{--}12$ раз/хв та тривалість змішування $3\text{--}4$ хв, за яких забезпечуються високі показники однорідності бетонної суміші, продуктивності та енергетичної ефективності процесу;

– отримало подальший розвиток уявлення про механізм інтенсифікації процесу змішування бетонних сумішей у гравітаційних бетонозмішувачах за рахунок поєднання обертального та осциляційного рухів барабана, що сприяє формуванню активних зон змішування та підвищенню інтенсивності масообміну між компонентами суміші.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленого способу змішування бетонних сумішей з осциляційним рухом барабана при створенні та модернізації гравітаційних бетонозмішувачів автономного універсального мобільного виконання.

Запропонований спосіб дозволяє підвищити коефіцієнт однорідності бетонної суміші на 10–12 %, скоротити тривалість змішування на 25–30 % та зменшити енерговитрати на 15–20 % порівняно з традиційним гравітаційним змішуванням, що забезпечує зростання технологічної та енергетичної ефективності процесу приготування бетону в умовах будівельного майданчика.

Отримані в роботі регресійні залежності та раціональні параметри роботи бетонозмішувача можуть бути використані при інженерних розрахунках, проектуванні нового обладнання, а також при виборі режимів роботи змішувальних установок залежно від властивостей бетонної суміші та умов експлуатації.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність ТОВ «Виробниче підприємство “Будмеханізація”» (м. Полтава) та ЖБК «Ворскла» (м. Полтава) під час виконання бетонних і ремонтно-будівельних робіт, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Практичне використання розробленого способу підтвердило його доцільність, надійність та ефективність, а також можливість застосування в малогабаритних автономних бетонозмішувальних установках для індивідуального, ремонтного та тимчасового будівництва.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, що зумовлена потребою підвищення ефективності процесів приготування бетонних сумішей в умовах будівельного майданчика, особливо при виконанні малогабаритного та автономного будівництва. Визначено мету та основні

завдання дослідження, сформульовано об'єкт і предмет дослідження. Наведено методи дослідження, використані для теоретичного обґрунтування та експериментальної перевірки параметрів автономного універсального мобільного малогабаритного обладнання для приготування бетону. Сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі виконано аналітичний огляд сучасного стану засобів і технологій приготування бетонних сумішей у будівельному виробництві. Розглянуто вимоги, що висуваються до обладнання для приготування бетону та до показників якості бетонних сумішей, проаналізовано існуючі конструкції бетонозмішувачів, обладнання для приготування бетону та машин для транспортування бетонних сумішей. На основі проведеного аналізу визначено основні недоліки традиційних технічних рішень та обґрунтовано доцільність удосконалення обладнання шляхом впровадження нових способів змішування. Сформульовано мету та завдання подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

У другому розділі виконано теоретичні дослідження роботи автономного універсального мобільного малогабаритного обладнання для приготування бетонних сумішей. Розроблено принципову та конструктивну схему обладнання і обґрунтовано принцип його роботи, що забезпечує виконання повного технологічного циклу в умовах будівельного майданчика. Розроблено математичну модель процесу змішування бетонної суміші в гравітаційному бетонозмішувачі з осциляційним рухом барабана, яка враховує переміщення компонентів суміші в робочому об'ємі та вплив кінематичних параметрів на інтенсивність перемішування. На основі отриманих аналітичних залежностей визначено технічну продуктивність обладнання, досліджено вплив частоти осциляційного руху барабана на енергетичні характеристики процесу та розроблено методику розрахунку сумарної споживаної потужності з урахуванням витрат енергії на обертальний і осциляційний рухи барабана. Отримані результати дозволили обґрунтувати раціональні режими роботи бетонозмішувача та оцінити його енергоефективність.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень робочих процесів гравітаційного бетонозмішувача з осциляційним рухом барабана. Розроблено програму та методики експериментальних досліджень, наведено характеристику обладнання, матеріалів і вимірювальних засобів. Досліджено вплив частоти обертання барабана, частоти осциляцій, амплітуди зміни кута нахилу барабана та тривалості змішування на показники однорідності бетонної суміші, продуктивність, міцність бетону та споживану потужність. Отримано експериментальні залежності, які дозволили встановити раціональні параметри роботи бетонозмішувача та оцінити ефективність використання осциляційного руху барабана. Виконано порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень, за результатами якого встановлено, що розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними не перевищує 10 %, що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей та достовірність отриманих результатів.

У четвертому розділі наведено результати реалізації та виробничих випробувань розробленого способу змішування бетонних сумішей з осциляційним рухом барабана в умовах будівельного майданчика. Описано конструктивні та технологічні особливості впровадженого способу, наведено основні технічні характеристики модернізованого гравітаційного бетонозмішувача та результати його лабораторної й виробничої апробації. Проведено виробничі випробування обладнання на будівельних майданчиках, здійснено порівняльну оцінку з традиційним способом змішування та підтверджено підвищення однорідності бетонної суміші, скорочення тривалості змішування і зниження енерговитрат. Практичну ефективність запропонованого способу підтверджено актами впровадження.

У додатках наведено матеріали, що доповнюють і уточнюють основні положення дисертаційної роботи, зокрема розширені результати дослідження процесу змішування бетонної суміші у гравітаційному бетонозмішувачі з осциляційним рухом робочого органу; акти впровадження результатів дослідження у виробничу діяльність будівельних підприємств; матеріали, що підтверджують правову охорону технічних рішень. Додатки містять відомості,

які забезпечують повноту викладення результатів дослідження та підтверджують їх практичну значущість.

Ключові слова: бетонна суміш, гравітаційний, бетонозмішувач, осциляційний рух барабана, малогабаритне обладнання, змішування, якість, однорідність суміші, енергоефективність, робочі параметри, реологія, продуктивність, відновлення, математичне моделювання.

ANOTATION

Rudyk R.Yu. Justification of the Operating Parameters of Autonomous Universal Mobile Compact Concrete Mixing Equipment. – Qualification scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 133 – Industrial Mechanical Engineering. – National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava, 2026.

In construction industry development, attention is focused on improving efficiency of concrete mixture preparation processes directly at construction sites. Particular importance is associated with autonomous, mobile equipment capable of operating without access to stationary power supply while ensuring concrete mixture quality at minimum energy consumption.

Analysis of existing concrete mixer designs has shown that conventional gravity mixers, where mixing is achieved through blade action and drum rotation, do not provide sufficient mixing intensity. As a result, mixing cycle duration increases, energy consumption rises, and regions with insufficient mixture uniformity are formed.

Improving mixing process efficiency involves application of oscillatory drum motion, which intensifies internal concrete mixture flows, enhances interaction between mixture components, and reduces material adhesion to working surface walls. Influence of oscillatory motion parameters on technological and energy performance of concrete mixers remains insufficiently investigated.

Dissertation addresses an important scientific and engineering problem related to justification of operating parameters for autonomous universal mobile compact equipment intended for concrete mixture preparation with oscillatory drum motion.

The study aims to increase mixing efficiency, reduce energy consumption, and ensure high concrete mixture quality under construction site conditions.

The research object is autonomous universal mobile compact equipment intended for concrete preparation together with its design features.

The research subject comprises concrete mixture preparation processes performed using autonomous mobile equipment, as well as the influence of design and technological parameters on mixture quality and operational energy efficiency.

The dissertation objective is to improve concrete mixture preparation efficiency under construction site conditions through application of universal mobile compact equipment with oscillatory drum motion and justification of rational operating parameters.

Scientific novelty of the obtained results is as follows:

- for the first time, relationships describing the influence of oscillatory drum motion and drum inclination angle variation amplitude on technological and energy performance of a gravity concrete mixer were established experimentally, including effects on concrete mixture uniformity, productivity, efficiency coefficient, concrete strength, and power consumption;

- for the first time, experimental–theoretical relationships describing productivity variation and efficiency coefficient variation as functions of oscillation frequency, drum rotational speed, and drum inclination angle variation amplitude were obtained, enabling quantitative assessment of mixing process efficiency;

- the mathematical model of concrete mixture mixing in a gravity concrete mixer was improved through incorporation of oscillatory drum motion and active mixing zone formation within the working volume, making it possible to describe mixture component motion more accurately and evaluate interaction efficiency;

- for the first time, rational operating parameters for a concrete mixer with oscillatory drum motion were substantiated experimentally: drum inclination angle variation amplitude 25–35°, rotational speed 30–40 rpm, oscillation frequency 8–12 min⁻¹, and mixing duration 3–4 min. These parameters ensure high concrete mixture uniformity, productivity, and process energy efficiency;

– further development was achieved in understanding the mechanism of concrete mixture mixing intensification in gravity concrete mixers through a combination of rotational and oscillatory drum motions, promoting active mixing zone formation and increasing mass transfer intensity between mixture components.

Practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying the developed concrete mixture mixing method with oscillatory drum motion during development and modernization of autonomous universal mobile gravity concrete mixers.

The proposed method increases the concrete mixture uniformity coefficient by 10–12%, reduces mixing duration by 25–30%, and decreases energy consumption by 15–20% compared with conventional gravity mixing. As a result, technological and energy efficiency of concrete preparation under construction site conditions is significantly improved.

The regression relationships and rational concrete mixer operating parameters obtained in this study can be applied in engineering calculations, new equipment design, and selection of mixing unit operating modes according to concrete mixture properties and operating conditions.

Dissertation research results have been implemented in production activities of LLC “Budmekhanizatsiia Manufacturing Enterprise” (Poltava) and the Vorskla Housing Cooperative (Poltava) during concrete and repair-construction operations, as confirmed by corresponding implementation certificates.

Practical application of the developed method confirmed its feasibility, reliability, and effectiveness, as well as suitability for compact autonomous concrete mixing units intended for individual, repair, and temporary construction projects.

The Introduction substantiates relevance of the dissertation topic, driven by the need to improve efficiency of concrete mixture preparation processes under construction site conditions, particularly in compact-scale and autonomous construction projects. The research objective and main tasks are defined, while the research object and subject are formulated. Research methods applied for theoretical justification and experimental verification of autonomous universal mobile compact

concrete preparation equipment parameters are presented. Scientific novelty and practical significance of the obtained results are formulated.

Chapter 1 provides an analytical review of the current state of equipment and technologies used for concrete mixture preparation in construction practice. Requirements imposed on concrete preparation equipment and concrete mixture quality indicators are considered. Existing concrete mixer designs, concrete preparation equipment, and concrete mixture transportation machines are analyzed. Based on the conducted review, major shortcomings of traditional technical solutions are identified, and feasibility of equipment improvement through implementation of new mixing methods is substantiated. The objective and tasks of further theoretical and experimental investigations are formulated.

Chapter 2 presents theoretical investigations into operation of autonomous universal mobile compact concrete preparation equipment. A structural scheme was developed and the operating principle was substantiated, ensuring implementation of a complete technological cycle under construction site conditions. A mathematical model describing the concrete mixture mixing process with oscillatory drum motion was proposed, taking into account the influence of design parameters on mixing intensity. Analytical relationships were used to determine equipment technical productivity and develop a calculation procedure for total power consumption considering energy expenditure associated with rotational and oscillatory drum motions. This made it possible to substantiate rational operating modes for the developed equipment.

Chapter 3 presents results of experimental investigations into operating processes of a gravity concrete mixer with oscillatory drum motion. An experimental programme and research procedures were developed, and characteristics of equipment, materials, and measuring instruments were provided. The influence of drum rotational speed, oscillation frequency, drum inclination angle variation amplitude, mixing duration, and mixture workability on concrete mixture uniformity, productivity, efficiency coefficient, concrete strength, and power consumption was investigated. Experimental relationships were obtained, making it possible to determine rational concrete mixer operating parameters and evaluate effectiveness of oscillatory drum

motion. A comparison between theoretical predictions and experimental results confirmed adequacy of the developed mathematical models and reliability of the obtained relationships.

Chapter 4 presents implementation results and field testing outcomes for the developed concrete mixture mixing method with oscillatory drum motion under construction site conditions. Design and technological features of the implemented method are described, while major technical characteristics of the modified gravity concrete mixer together with laboratory and field-test results are presented. Equipment field tests were carried out at construction sites, a comparative assessment against the conventional mixing method was performed, and improvements in concrete mixture uniformity, reductions in mixing duration, and decreases in energy consumption were confirmed. Practical effectiveness of the proposed method was verified by implementation certificates.

The Appendices contain materials supplementing and clarifying the main provisions of the dissertation, including extended research results related to the concrete mixture mixing process in a gravity concrete mixer with oscillatory working-body motion; implementation certificates confirming application of the obtained results in construction company operations; and documents supporting legal protection of the proposed technical solutions. The appendices provide information ensuring completeness of research result presentation and confirming their practical significance.

Keywords: concrete mix, gravity, concrete mixer, oscillatory drum movement, small-sized equipment, mixing, quality, mixture uniformity, energy efficiency, operating parameters, rheology, productivity, recovery, mathematical modeling.