

АНОТАЦІЯ

Сальніков Р.Ю. Обґрунтування параметрів гвинтового насосу безперервної дії для перекачування будівельних розчинів та рідин. – 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.

Сучасні технології в будівництві розвиваються дуже швидко і ставлять все жорсткіші вимоги до продуктивності, якості виконання робіт та енергоефективності обладнання. Одним з ключових аспектів механізації будівельних робіт є застосування штукатурних агрегатів і розчинонасосів. Вони забезпечують ефективне транспортування та нанесення будівельних сумішей на поверхні конструкцій. Механізоване перекачування будівельних сумішей суттєво підвищує продуктивність роботи, знижує трудомісткість процесів і забезпечує рівномірне нанесення матеріалів.

У сучасних штукатурних установках для подачі будівельних розчинів широко застосовуються гвинтові насоси безперервної дії. Вони забезпечують плавну та рівномірну подачу суміші, здатні працювати з в'язкими, неоднорідними та абразивними матеріалами, а також відзначаються компактністю та простотою конструкції. Разом із тим ефективність їх роботи значною мірою залежить від конструктивних параметрів гвинтової пари, режимів роботи приводу та фізико–механічних характеристик розчинів.

Будівельні розчини є складними багатокомпонентними системами, які характеризуються неньютонівською поведінкою, наявністю твердих включень і змінною в'язкістю. Ці фактори суттєво впливають на гідродинамічні процеси в робочій камері насоса, викликають підвищене енергоспоживання, неоднорідність подачі та інтенсивне зношування елементів гвинтового вузла.

Традиційні методи проектування насосного обладнання часто не враховують комплексного впливу реологічних властивостей розчинів, геометричних параметрів гвинтової пари та режимів роботи приводу.

У зв'язку з цим актуальним є проведення досліджень процесу перекачування будівельних розчинів гвинтовими насосами, розроблення математичних моделей робочого процесу та обґрунтування оптимальних конструктивних і режимних параметрів насосного обладнання.

Об'єктом дослідження є гвинтовий насос безперервної дії для перекачування будівельних розчинів та рідин..

Предметом дослідження є конструктивні, кінематичні та раціональні режимні параметри гвинтового насоса, а також їх вплив на продуктивність, енергоефективність і якість процесу перекачування з урахуванням реологічних властивостей робочого середовища..

Метою дослідження є обґрунтування параметрів гвинтового насоса безперервної дії для ефективного перекачування будівельних розчинів і рідин з урахуванням їх реологічних характеристик, що забезпечує підвищення продуктивності, енергоефективності та довговічності насосного обладнання.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено комплекс наукових та інженерних задач, що включають аналіз існуючих конструкцій гвинтових насосів, дослідження реологічних властивостей будівельних розчинів, розроблення математичної моделі процесу транспортування матеріалу у гвинтовій парі, визначення оптимальних геометричних і раціональних режимних параметрів насоса, експериментальну перевірку отриманих залежностей та формування рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи насосного обладнання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

– вперше розроблено удосконалену математичну модель процесу транспортування будівельних розчинів у гвинтовому насосі безперервної дії з урахуванням реологічних властивостей матеріалу, включаючи зміну в'язкості, в'язкопластичні властивості та наявність абразивних включень;

– вперше встановлено закономірності впливу геометричних параметрів гвинтової пари та режимів роботи приводу на продуктивність, напір та енергоефективність гвинтового насоса;

– експериментально обґрунтовано оптимальні конструктивні параметри гвинтового робочого органу, що забезпечують рівномірну подачу будівельного розчину без пульсацій та зниження енергетичних втрат;

– розроблено критерії оцінювання ефективності роботи гвинтового насоса з урахуванням взаємодії параметрів гідроприводу та характеристик перекачуваного середовища.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених методик і рекомендацій для підвищення ефективності роботи гвинтових насосів у штукатурних агрегатах та інших будівельних машинах.

Отримані результати дозволяють оптимізувати конструктивні параметри гвинтового вузла, підвищити рівномірність подачі будівельних розчинів, зменшити енергоспоживання та збільшити ресурс роботи обладнання.

Розроблені рекомендації можуть бути використані при проектуванні та модернізації штукатурних установок, розчинонасосів і насосного обладнання для транспортування в'язких та неоднорідних середовищ.

Практичні результати дослідження можуть застосовуватися у будівельній, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості, де необхідне перекачування в'язкопластичних матеріалів.

Результати досліджень впроваджено у виробництво на підприємстві «Будмеханізація» (м. Полтава) та ЖБК «Ворскла» (м. Полтава) під час виконання відновлювальних робіт, що підтверджено відповідними актами впровадження.

У вступі вказано, що сучасні будівельні технології потребують ефективних засобів механізованого транспортування будівельних розчинів, а гвинтові насоси є одним із найефективніших типів обладнання для роботи з в'язкими та неоднорідними матеріалами. Водночас існуючі конструкції мають

недоліки, пов'язані з енерговитратами, нестабільністю подачі та швидким зношуванням робочих органів.

Зазначено, що будівельні розчини мають складні реологічні властивості (в'язкість, наявність абразивних частинок), які суттєво впливають на роботу гвинтового насоса та повинні враховуватись при його проектуванні.

Підкреслено, що оптимізація геометрії гвинтової пари, режимів роботи приводу та умов транспортування розчину дозволить підвищити продуктивність роботи штукатурного агрегату.

Показано, що традиційні методики проектування насосів не враховують повною мірою реологічні властивості будівельних сумішей, тому необхідне уточнення математичних моделей робочого процесу.

Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення штукатурних агрегатів та інших машин, що застосовують гвинтові насоси для транспортування будівельних сумішей.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану та перспектив розвитку штукатурних агрегатів і розчинонасосів, розглянуто основні типи обладнання для транспортування будівельних розчинів, наведено їх класифікацію та конструктивні особливості. Особливу увагу приділено гвинтовим розчинонасосам, що застосовуються у малогабаритних штукатурних установках. Проаналізовано їхні переваги та недоліки, визначено основні фактори, що впливають на ефективність роботи гвинтового вузла, а також обґрунтовано необхідність подальших досліджень процесу перекачування будівельних розчинів.

У другому розділі виконано теоретичні дослідження робочого процесу гвинтового насоса. Класифіковано гвинтові насоси за принципом їх роботи. Розроблено математичну модель процесу транспортування рідини у робочій камері насоса, що враховує геометричні параметри гвинтової пари, швидкість обертання ротора, витоки у зазорах та гідродинамічні характеристики потоку.

Отримано залежності для визначення продуктивності, напору, коефіцієнта корисної дії та енергетичних параметрів насоса. Досліджено

особливості роботи гвинтового насоса при перекачуванні в'язких, абразивних та неоднорідних середовищ. Розглянуто реологічні властивості будівельних розчинів та їх вплив на гідродинамічні процеси в насосі.

Проаналізовано вплив реологічних параметрів на продуктивність насоса, втрати тиску та енерговитрати.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень роботи гвинтового насоса. Описано конструкцію лабораторного стенда, методику проведення експериментів та умови дослідження. Проведено експериментальну перевірку отриманих теоретичних залежностей, визначено вплив геометричних параметрів гвинтового вузла та режимів роботи приводу на продуктивність і енергоспоживання насоса. Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень, сформульовано рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів гвинтових насосів та режимів їх роботи залежно від властивостей будівельних розчинів. Розроблено інженерні рекомендації для проектування та експлуатації насосного обладнання, спрямовані на підвищення ефективності механізованого транспортування будівельних сумішей.

У четвертому розділі наведено результати практичної реалізації розроблених у дисертаційній роботі технічних рішень та методичних рекомендацій. Представлено результати використання удосконалених конструктивних і режимних параметрів гвинтового насоса безперервної дії у складі штукатурних агрегатів та насосного обладнання для транспортування будівельних розчинів.

Наведено результати впровадження розроблених рекомендацій у практику проектування та експлуатації насосного обладнання, що дозволило підвищити ефективність перекачування будівельних сумішей, зменшити енергоспоживання та збільшити ресурс роботи елементів гвинтового вузла.

Показано, що застосування отриманих результатів сприяє підвищенню рівномірності подачі розчину, покращенню технологічних параметрів штукатурних робіт та зниженню експлуатаційних витрат. Також наведено

можливості використання результатів дослідження у навчальному процесі закладів вищої освіти при підготовці фахівців з машинобудування та будівельної техніки.

У додатках розміщено матеріали, що доповнюють і уточнюють основні положення дисертаційної роботи. Зокрема подано результати експериментальних досліджень роботи гвинтового насоса безперервної дії при перекачуванні будівельних розчинів; акти впровадження результатів дослідження у виробничу діяльність та навчальний процес; патент на корисну модель. Додатки містять відомості, які забезпечують повноту викладення результатів дослідження та підтверджують їх практичну цінність.

Ключові слова: гвинтовий насос, гвинтовий вузол, розчинонасос, штукатурний агрегат, перекачування будівельних розчинів, реологічні властивості, неньютонівські рідини, продуктивність насоса, гідродинамічні процеси, математична модель, конструктивні параметри, енергоефективність, гідравлічний привід, насадки, насосне обладнання, комп'ютерне моделювання

ABSTRACT

Salnikov R.Y. Substantiation of continuous progressive cavity pump parameters for pumping construction mortars and liquids. – Qualification scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation submitted for the Doctor of Philosophy degree in Specialty 133 – Industrial Mechanical Engineering. – National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, 2026.

Modern construction technologies are developing rapidly and impose increasingly stringent requirements on productivity, work quality, and equipment energy efficiency. One of the key elements in construction process mechanization is the application of plastering units and mortar pumps. These machines ensure efficient transportation and application of construction mixtures onto structural surfaces. Mechanized mortar pumping significantly increases productivity, reduces labour intensity, and provides uniform material application.

Modern plastering systems widely employ continuous progressive cavity pumps for supplying construction mortars. These pumps provide smooth and continuous material delivery, operate reliably with viscous, heterogeneous, and abrasive media, and feature compact design combined with simple construction. However, their performance strongly depends on screw pair geometry, drive operating conditions, and physical as well as mechanical properties of pumped materials.

Construction mortars represent complex multicomponent systems characterized by non-Newtonian behaviour, solid inclusions, and variable viscosity. These factors considerably influence hydrodynamic processes inside the pump chamber, increase power consumption, reduce delivery uniformity, and accelerate wear of screw assembly components. Conventional pump design methods do not adequately consider the combined influence of mortar rheology, screw geometry, and drive operating parameters.

Therefore, investigating construction mortar pumping, developing mathematical models describing the working process, and substantiating optimal design and operating parameters for pumping equipment remain highly relevant.

Research object – a continuous progressive cavity pump designed for pumping construction mortars and liquids.

Research subject – design features, kinematic characteristics, and rational operating parameters of the progressive cavity pump together with their influence on productivity, energy efficiency, and pumping quality considering rheological properties of the working medium.

Research purpose – substantiation of continuous progressive cavity pump parameters ensuring efficient pumping of construction mortars and liquids while considering their rheological characteristics to improve productivity, energy efficiency, and service life.

Achieving this objective required solving a comprehensive set of scientific and engineering tasks, including analysis of existing progressive cavity pump designs, investigation of construction mortar rheology, development of a mathematical model describing material transportation inside the screw pair, determination of optimal geometric and operating parameters, experimental verification of theoretical results, and preparation of engineering recommendations aimed at improving pump performance.

Scientific novelty

The obtained scientific results include:

- development, for the first time, of an improved mathematical model describing construction mortar transportation in a continuous progressive cavity pump while considering rheological material properties, including viscosity variation, viscoplastic behaviour, and abrasive particle content;
- establishment, for the first time, of relationships describing the influence of screw pair geometry and drive operating conditions on pump capacity, pressure generation, and energy efficiency;

- experimental substantiation of optimal screw working element parameters ensuring uniform mortar delivery without flow pulsations and reduced energy losses;
- development of performance evaluation criteria considering interaction between hydraulic drive parameters and pumped medium characteristics.

Practical significance

The developed methodologies and engineering recommendations can improve performance of progressive cavity pumps used in plastering units and other construction machinery.

The obtained results make it possible to optimize screw assembly geometry, improve mortar delivery uniformity, reduce power consumption, and increase equipment service life.

The proposed recommendations may be applied during design and modernization of plastering systems, mortar pumps, and pumping equipment intended for transporting viscous and heterogeneous media.

The research results may also be implemented in construction, chemical, food-processing, and other industries requiring transportation of viscoplastic materials.

The developed solutions have been implemented at Budmekhanizatsiya LLC (Poltava) and Vorskla Housing Construction Cooperative (Poltava) during restoration works, as confirmed by implementation certificates.

The introduction emphasizes that modern construction technologies require highly efficient equipment for mechanized transportation of construction mortars, while progressive cavity pumps represent one of the most effective solutions for handling viscous and heterogeneous materials. Existing pump designs still exhibit considerable shortcomings related to energy consumption, unstable flow delivery, and rapid wear of working elements.

Construction mortars possess complex rheological properties, including variable viscosity and abrasive particles, which substantially affect pump performance and therefore must be considered during design optimization.

Optimization of screw pair geometry, drive operating parameters, and mortar transportation conditions allows significant improvement of plastering unit performance.

Traditional pump design procedures do not fully account for rheological properties of construction mixtures, making further refinement of mathematical models necessary.

The obtained results may be applied to improve plastering units and other machines employing progressive cavity pumps for transporting construction mixtures.

Chapter summary

Chapter 1 analyzes the current state and development prospects of plastering units and mortar pumps. It reviews the main equipment used for transporting construction mortars, presents its classification, and describes design features. Particular attention is given to progressive cavity mortar pumps employed in compact plastering systems. Their advantages and limitations are analyzed, key factors affecting screw unit performance are identified, and the need for further research into construction mortar pumping processes is substantiated.

Chapter 2 presents theoretical investigations into progressive cavity pump operation. Pump classification according to operating principle is proposed. A mathematical model describing liquid transportation inside the working chamber is developed while considering screw pair geometry, rotor speed, leakage through clearances, and flow hydrodynamics. Analytical relationships are obtained for determining capacity, pressure, efficiency, and energy parameters. Pump operation with viscous, abrasive, and heterogeneous media is investigated together with rheological properties of construction mortars and their influence on hydrodynamic processes. The influence of rheological parameters on pump capacity, pressure losses, and energy consumption is analyzed.

Chapter 3 presents experimental investigation results obtained using a laboratory test bench. Experimental procedures and testing conditions are described.

Theoretical relationships are verified experimentally, while the influence of screw geometry and drive operating conditions on pump productivity and energy consumption is determined. Engineering recommendations are formulated for selecting optimal pump design parameters and operating modes depending on construction mortar properties. Practical recommendations aimed at improving mechanized transportation efficiency are also developed.

Chapter 4 presents practical implementation of the proposed engineering solutions and methodological recommendations. Improved design and operating parameters were introduced into plastering units and pumping equipment intended for construction mortar transportation. Their application increased pumping efficiency, reduced energy consumption, and extended screw assembly service life. Improved mortar delivery uniformity, enhanced plastering process performance, and lower operating costs were demonstrated. Opportunities for applying research results in higher education during mechanical engineering and construction equipment training are also presented.

The Appendices contain supplementary materials supporting the dissertation, including experimental results obtained during construction mortar pumping, implementation certificates confirming industrial and educational application, and a utility model patent. These materials ensure completeness of the research and confirm its practical significance.

Keywords: progressive cavity pump, screw assembly, mortar pump, plastering unit, construction mortar pumping, rheological properties, non-Newtonian fluids, pump capacity, hydrodynamic processes, mathematical model, design parameters, energy efficiency, hydraulic drive, nozzles, pumping equipment, computer simulation.