



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



УКРАЇНСЬКА РАДА
ІНЖЕНЕРІВ-БУДІВЕЛЬНИКІВ



БУДІВЕЛЬНА
ПАЛАТА
УКРАЇНИ



АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА
УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ»



VI Міжнародна науково-практична конференція «ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

20-21 травня 2025 року

Присвячено 95-річчю з дня заснування КНУБА

Матеріали конференції

Київ 2025

Список використаних джерел:

1. Livinskii O.M., Kyrok O.I., Pelevin L.Ye., Malich V. O., Kovalenko V.M., Babichenko V.Ya. (2016). Lifting, transport and loading and unloading machines. Book, Kyiv, Lusiya Publ., 677.
2. Mishchuk D. O., Mishchuk E. O., Balaka M. M. (2021). Assessment of the possibilities of energy storage by the drive of a forklift. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*, Issue 95. 171–177. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.171>.
3. Korobenko, Y., Mishchuk, D., & Balaka, M. (2024). Overview of suspension systems for mobile wheeled robots. *Girnich, budivelni, Dorozhni Ta meliorativni Mashini*, (104), 28–37.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ У ВДОСКОНАЛЕНОМУ ШПАКЛЮВАЛЬНОМУ АГРЕГАТІ З ГІДРОПРИВОДОМ

Роман Сальніков, аспірант¹ (ORCID: 0009-0001-0408-4358),
Віктор Вірченко, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0002-5346-9545),
Ростислав Рудик, аспірант¹ (ORCID: 0000-0001-8386-977X),
Юрій Кузуб, аспірант¹ (ORCID: 0009-0006-8463-3914),

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка 24, 36011, Україна

АНОТАЦІЯ. У роботі представлено результати математичного моделювання процесу подачі будівельних сумішей у вдосконаленому шпаклювальному агрегаті, створеному на основі моделі СО-150. Основною технічною інновацією є впровадження гідравлічного приводу для шнекового живильника та гвинтового насоса, що дозволяє точно регулювати параметри подачі відповідно до фізико-механічних властивостей суміші. Розроблена математична модель враховує основні елементи системи: гідропривід, трубопровід, втрати тиску, параметри насосів. Застосування цієї моделі дає змогу обґрунтовано підбирати характеристики обладнання, забезпечуючи стабільність та ефективність роботи. Запропоноване рішення спрямоване на підвищення продуктивності, якості та надійності механізованих оздоблювальних процесів у сучасному будівництві.

Ключові слова: шпаклювальний агрегат; будівельна суміш; гідравлічний привід; перекачування; шнековий живильник; гвинтовий насос.

Вступ. У сучасних умовах стрімкого розвитку будівельної галузі особливого значення набувають технології, що забезпечують високу продуктивність, точність та якість виконання оздоблювальних робіт. Механізація процесів нанесення будівельних сумішей – таких як шпаклівки, розчини, ґрунтовки та фарби – є ключовим чинником підвищення ефективності будівництва, особливо в умовах великих обсягів робіт і обмежених термінів виконання. Водночас зростає потреба в удосконаленні існуючого обладнання з метою адаптації до нових вимог щодо економічності, надійності, екологічності та зручності експлуатації.

Одним із важливих напрямів модернізації будівельного обладнання є вдосконалення систем подачі робочих сумішей. Від стабільності, рівномірності та точності подачі безпосередньо залежать якість нанесення матеріалу, рівномірність покриття та витрата суміші. Існуючі моделі шпаклювальних агрегатів, зокрема агрегат СО-150, мають низку конструктивних обмежень, які ускладнюють їхню ефективну експлуатацію в умовах роботи з сумішами різної в'язкості та гранулометричного складу. Зокрема, електропривід шнекового живильника часто не забезпечує достатнього крутного моменту для стабільної подачі густих або крупнозернистих сумішей. Це призводить до зниження якості нанесення, підвищеного зношування вузлів і втрат часу на технічне обслуговування.

У зв'язку з цим актуальним стає впровадження нових технічних рішень, які дозволяють забезпечити адаптивність, гнучкість та енергоефективність обладнання. Одним із перспективних напрямів є заміна електроприводу гідравлічною системою. Гідропривід надає можливість реалізувати плавне регулювання частоти обертання виконавчих механізмів, точно дозувати подачу матеріалу залежно від властивостей суміші, а також підвищити надійність і довговічність агрегатів.

Крім того, гідросистеми мають високу перевантажувальну здатність і стійкість до коливань навантаження, що критично важливо для стабільного функціонування під час подачі неоднорідних сумішей.

Для обґрунтування доцільності модернізації шпаклювального агрегату за рахунок впровадження гідроприводу необхідно здійснити глибокий аналіз процесу подачі суміші. З цією метою у даній роботі запропоновано математичну модель, яка враховує основні компоненти системи — шнековий живильник, гвинтовий насос, параметри гідроприводу, геометричні та фізико-механічні характеристики сумішей. Розроблена модель дозволяє виконувати як аналітичні, так і чисельні розрахунки, необхідні для оптимізації конструкції та режимів роботи агрегату.

Представлене дослідження має прикладне значення та може бути використане при створенні нових або модернізації наявних зразків будівельного обладнання з урахуванням сучасних вимог до ефективності та якості механізованих оздоблювальних робіт..

Аналіз літературних джерел. У дослідженні [1] розглянуто розробку устаткування для малоімпульсної подачі будівельних сумішей при мокрому торкретуванні. Автор запропонував використання однопоршневого компенсатора та кільцевого поршневого блока для зменшення імпульсності подачі суміші, що дозволяє покращити якість нанесення та зменшити енерговитрати. Ці підходи можуть бути адаптовані для вдосконалення шпаклювальних агрегатів з гідроприводом. Авторами роботи [2] розглянуто принципи дії, конструктивні особливості та методи регулювання режимів роботи спеціальних гідромашин, включаючи гідроприводи та гвинтові насоси. Ці знання є фундаментальними для розробки математичних моделей систем подачі будівельних сумішей, що враховують взаємодію між механічними та гідравлічними компонентами. У роботі [3], присвяченій науковим основам створення обладнання для механічної активації та пресування будівельних сумішей, розглянуто системний підхід до розробки обладнання, що включає в себе аналіз процесів механічної активації та пресування. Ці дослідження можуть бути корисними для розуміння впливу властивостей сумішей на ефективність їх подачі та нанесення.

Мета роботи. Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка математичної моделі процесу подачі будівельних сумішей у вдосконаленому шпаклювальному агрегаті з гідравлічним приводом, що базується на конструкції агрегату типу СО-150. З урахуванням сучасних вимог до якості оздоблювальних робіт, енергоефективності та технологічної гнучкості, робота спрямована на виявлення закономірностей взаємодії між основними елементами системи подачі суміші – шнековим живильником, гвинтовим насосом, гідроприводом та трубопроводом, – з метою забезпечення стабільного, регульованого та безперервного транспортування сумішей різної щільності та в'язкості.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах інтенсифікації будівельних процесів зростає попит на механізовані засоби, здатні забезпечити ефективно, рівномірне та якісне нанесення оздоблювальних матеріалів. Серед них важливе місце посідають агрегати для подачі та нанесення шпаклівок, фарб, ґрунтовок, клеїв і розчинів, які використовуються під час внутрішнього та зовнішнього оздоблення. Водночас традиційні моделі обладнання часто не відповідають зростаючим вимогам до точності дозування, енергоефективності, надійності та адаптивності до різних типів сумішей.

Одним із найпоширеніших агрегатів, які використовуються у будівельній практиці, є шпаклювальний пристрій СО-150. Попри свою функціональність і простоту конструкції, він має обмеження, які негативно впливають на якість робіт. Зокрема, електропривід шнекового живильника часто не забезпечує достатнього крутного моменту для стабільної подачі густих, високов'язких або неоднорідних сумішей. Це призводить до нерівномірної подачі, нестабільної роботи насоса, підсмоктування повітря в систему та, як наслідок, до зниження якості нанесення матеріалу на поверхню.

З огляду на ці недоліки, доцільним є вдосконалення конструкції агрегату шляхом впровадження гідроприводу. Гідравлічні системи дозволяють здійснювати плавне та точне регулювання частоти обертання виконавчих механізмів, мають високу перевантажувальну здатність та забезпечують стабільність роботи навіть за умов змінного навантаження або варіативних

властивостей суміші. Це робить їх особливо ефективними в умовах реального будівництва, де матеріали можуть мати різну густину, зернистість і динамічні характеристики.

Для оцінювання ефективності запропонованого технічного рішення в роботі представлено математичну модель процесу подачі будівельної суміші у вдосконаленому агрегаті. У межах цієї моделі враховано основні компоненти системи: шнековий живильник, гвинтовий насос (типу «Мойне»), гідропривід та трубопровід. Модель включає рівняння для визначення об'ємної продуктивності шнека з урахуванням його діаметра, кроку спіралі, частоти обертання та коефіцієнта заповнення. Також враховується взаємозв'язок між витратою гідравлічної рідини, робочим об'ємом гідромотора та частотою обертання шнека.

Окремим компонентом моделі є рівняння для гвинтового насоса, який забезпечує лінійну залежність подачі матеріалу від частоти обертання. Для стабільної роботи системи подачі критично важливо, щоб продуктивність шнека не була меншою за продуктивність насоса, що дозволяє уникнути розриву потоку та повітряних пробок. Крім того, модель враховує гідравлічні втрати в трубопроводі згідно з формулою Дарсі-Вейсбаха, що дозволяє оцінити вплив довжини, діаметра та швидкості потоку на загальну ефективність системи.

Розроблена система рівнянь дає змогу здійснювати як аналітичні, так і чисельні розрахунки, необхідні для вибору оптимальних параметрів елементів гідросистеми. Це дає змогу вдосконалення конструкції агрегату, автоматизації процесу регулювання подачі, підвищення точності та зниження енерговитрат. У перспективі запропоноване технічне рішення може бути інтегроване в інтелектуальні системи керування будівельним обладнанням.

Одним із ключових факторів підвищення ефективності механізованого нанесення будівельних сумішей є оптимізація роботи системи подачі матеріалу.

У вдосконаленому шпаклювальному агрегаті, який базується на моделі СО-150, впроваджено гідравлічний привід для шнекового живильника та гвинтового насоса (Рис. 1). Це забезпечує можливість точного регулювання параметрів подачі в залежності від фізико-механічних властивостей суміші.

З метою аналітичного обґрунтування роботи агрегату розроблено математичну модель, що описує процес транспортування суміші.

Шнековий живильник виконує функцію транспортування суміші з бункера до всмоктувальної зони гвинтового насоса. Його продуктивність визначається за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{\pi D_{ш}^2}{4} \cdot s \cdot n_{ш} \cdot \eta_{зан}, \quad (1)$$

де $Q_{ш}$ - об'ємна подача шнека, м³/с; $D_{ш}$ - діаметр шнека, м; s - крок спіралі шнека, м; $n_{ш}$ - частота обертання шнека, об/с; $\eta_{зан}$ - коефіцієнт заповнення (0,5–0,8 залежно від в'язкості).

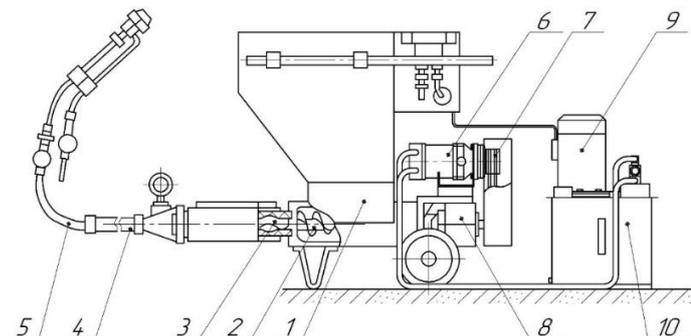


Рис.1. Шпаклювальний агрегат СО-150 з гідравлічним приводом

1 - бункер, 2 - шнековий живильник, 3 - гвинтовий насос, 4 - з'єднувальний патрубок, 5 - гумовий шланг, 6 - гідромотор, 7 - шків, 8 - редуктор, 9 - маслостанція, 10 - гідравлічний бак

Ця залежність дозволяє оцінити, який обсяг матеріалу переміщується кожного оберту шнека з урахуванням часткового заповнення транспортувального каналу.

У новій конструкції частота обертання шнека регулюється за допомогою гідроприводу. Її можна визначити рівнянням

$$n_{ш} = \frac{q \cdot Q_2}{2\pi \cdot V_{зм}}, \quad (2)$$

де Q_2 - витрата гідравлічної рідини, м³/с; $V_{зм}$ - робочий об'єм гідромотора, м³/об; q - передавальне число редуктора та шківів.

Це рівняння описує пряму залежність між витратою рідини в гідросистемі та швидкістю обертання виконавчого механізму.

Гвинтовий насос, або насос типу "Мойне", характеризується лінійною залежністю продуктивності від частоти обертання

$$Q_n = C_{zg} \cdot n_n, \quad (3)$$

де Q_n - подача насоса, м³/с; C_{zg} - конструктивний об'ємний коефіцієнт насоса, м³/об; n_n - частота обертання ротора насоса, об/с.

Для забезпечення стабільності подачі матеріалу необхідно, щоб об'ємна подача шнека була не меншою за подачу насоса

$$Q_{ш} \geq Q_n \quad (4)$$

Це дозволяє уникнути зривів потоку або підсмоктування повітря у всмоктувальну зону.

Втрати тиску при транспортуванні суміші через трубопровід можна оцінити за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (5)$$

де Δp - втрати тиску, Па; λ - коефіцієнт тертя; L - довжина трубопроводу, м; D - внутрішній діаметр трубопроводу, м; ρ - густина суміші, кг/м³; v - швидкість руху суміші, м/с.

Таким чином, модель подачі в агрегат формується як система рівнянь

$$\begin{cases} Q_{ш} = \frac{\pi D_{ш}^2}{4} \cdot s \cdot \frac{q Q_2}{2\pi V_{зм}} \cdot \eta_{зан} \\ Q_n = C_{zg} \cdot n_n \\ Q_{ш} \geq Q_n \\ \Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \end{cases} \quad (6)$$

Висновки. У ході дослідження було розроблено та представлено математичну модель процесу подачі будівельних сумішей у вдосконаленому шпаклювальному агрегаті з гідроприводом. Аналіз існуючого обладнання, зокрема агрегату СО-150, виявив низку конструктивних недоліків, що обмежують ефективність його використання при роботі з густими або неоднорідними сумішами. Основним недоліком виявлено недостатню потужність електроприводу шнекового живильника, що призводить до нестабільної подачі матеріалу, зниження якості нанесення та зростання експлуатаційних втрат.

Запропоноване технічне рішення передбачає заміну електроприводу гідравлічною системою, яка дозволяє плавно регулювати швидкість обертання шнека та ротора гвинтового насоса, що суттєво підвищує адаптивність обладнання до змінних умов експлуатації та фізико-механічних властивостей суміші. Удосконалений агрегат забезпечує стабільну та рівномірну подачу матеріалу, зменшує ймовірність розриву потоку та сприяє підвищенню якості оздоблювальних робіт.

Розроблена математична модель включає систему рівнянь, які описують залежності між геометричними та функціональними параметрами системи подачі: діаметр і крок спіралі шнека, частота його обертання, об'єм гідромотора, витрата гідравлічної рідини, втрати тиску в трубопроводі, конструктивні параметри гвинтового насоса. Така модель дозволяє проводити як аналітичний, так і чисельний аналіз ефективності системи при зміні окремих параметрів, що особливо важливо на етапі проектування та оптимізації.

Практичне значення розробленого підходу полягає в можливості його застосування для створення нового покоління шпаклювальних агрегатів, здатних ефективно працювати в умовах сучасного будівництва. Отримані результати також можуть бути використані в навчальному процесі, при викладанні дисциплін з механізації будівельних процесів, гідроприводів, моделювання технічних систем.

Таким чином, робота не лише підтверджує доцільність впровадження гідроприводу у шпаклювальні агрегати, але й надає інструменти для подальшого вдосконалення конструкцій на основі системного математичного аналізу. Перспективи подальших досліджень включають експериментальну перевірку моделі, розробку систем автоматизованого керування подачею суміші, а також адаптацію моделі до інших типів будівельного обладнання, що використовує подібні механізми транспортування матеріалів.

Список використаних джерел:

1. D. Yan, Q. Tang, A. Kovacevic et al. (2018). Rotor Profile Design and Numerical Analysis of 2-3 Type Multiphase Twin-Screw Pumps. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 232(2), 186–202. <http://dx.doi.org/10.1177/0954408917691798>
2. Wang J., Cui F., Wei S. et al. (2017) Study on a novel screw rotor with variable cross-section profiles for twin-screw vacuum pumps. *Vacuum*, vol. 145, pp. 299–307, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2017.09.006>
3. Salnikov, R.Yu., Virchenko, V.V., Rudyk R.Yu (2024) Zastosuvannia zasobiv kompiuternykh tekhnolohii ta 3D modeliuvannia pry rozroblenni vdoskonalenoho vuzla dlia perekachuvannia shtukaturnykh ta budivelnykh rozchyniv [Application of computer technology and 3D modeling tools in the development of an improved unit for pumping plaster and mortars] *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny - Mining, construction, road and land reclamation machines*, 15-18.
4. Salnikov R., Rudyk, R. (2023) Improving the efficiency of the screw unit of plastering plants. *ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering*, T. 1, (60), 31–37. <https://doi.org/10.26906/znp.2023.59.0000>

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY OF JAW CRUSHER DEPENDING ON THE FREQUENCY OF REVOLUTION OF THE WORKING BODIES

Yevhen Mishchuk, Associate Professor, PhD¹ (ORCID: 0000-0002-7850-0975),

¹ Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Air Force Avenue 31, 03037, Ukraine

ABSTRACT. *The development of the construction industry today is not possible without the participation of energy-efficient machines and equipment. A key role among such machines is occupied by crushing machines, which include jaw, cone, roller, vibrating and impact crushers. The main determining parameters of the energy efficiency of a crushing machine, which at the same time complement each other, are power and productivity. The impact of productivity on energy costs is obvious. There are various approaches to determining productivity, but today there is no systematic analysis of such methods and approaches that could indicate similar and different patterns of the processes of material destruction by the working bodies of crushing machines. The paper considers methods for determining the productivity of jaw crushers. The frequency of oscillations of the working bodies of crushing machines has a significant impact on productivity. Graphs of the dependence of productivity on the frequency of oscillations of the working bodies of crushing machines are presented, which allow a better understanding of the characteristics of productivity changes. A general equation is proposed for determining the productivity of a jaw crusher, which should include functional dependencies on the relevant parameters. The conclusions identify the shortcomings of existing methods for determining productivity and suggest directions for further research.*

Keywords: crusher; energy efficiency; productivity; oscillation frequency; degree of crushing.

Introduction. The development of the construction industry today is not possible without the participation of energy-efficient machines and equipment. A key role among such machines is occupied by crushing machines, which include jaw, cone, roller, vibrating and impact crushers [10]. The main determining parameters of the energy efficiency of a crushing machine, which at the same time complement each other, are power and productivity. The issue of energy consumption lies in the field of determining the minimum energy required for the destruction of material in the crushing chamber [1],[2]. In addition, in research and creation of methods for applying load in order to minimize energy consumption. One of