



# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



УКРАЇНЬКА 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

9. Manikandan, R., Subash, K., Joshua sujith, T., Jayasuriyan, R., Jerendran, J., Rajpradeesh, T., & Rajesh, S. (2021). Design and development of an industrial firefighting rover. *Materials Today: Proceedings*, 45(9), 7965–7969. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.961>
10. Korendiy, V. M., Kachur, O. Yu., Pylyp, M. V., & Karpyn, R. B. (2025). Kinematychnyi analiz ta konstruiuvannya robota-manipulatora dlia keruvannya brandsploityamy [Kinematic analysis and design of a robot manipulator for controlling fire hoses]. *Moloda nauka - robotyzatsiia i nano-tekhnologii suchasnoho mashynobuduvannya: zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi molodizhnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, 16–18 kvitnia 2025 r. [Young Science - Robotics and Nanotechnology of Modern Mechanical Engineering: Collection of scientific papers of the International Youth Scientific and Technical Conference, April 16-18, 2025] (pp. 183–190). [in Ukrainian].
11. Korendiy, V., Zinko, R., & Cherevko, Y. (2019). Structural and kinematic analysis of pantograph-type manipulator with three degrees of freedom. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 5(2), 68–82. <https://doi.org/10.23939/ujmems2019.02.068>
12. Korendiy, V., Kachur, O., Augousti, A., & Lanets, O. (2024). Optimizing the structural parameters of the robotic system to ensure the efficiency and reliability of work in the production environment. *CEUR Workshop Proceedings*, 3699, 180–197. <https://ceur-ws.org/Vol-3699/paper13.pdf>
13. Korendiy, V. M., Kachur, O. Yu., Pylyp, M. V., & Karpyn, R. B. (2025). Rozroblennia ta doslidzhennia zovnishnikh i vnutrishnikh skhopliuvachiv dlia mizhoperatsiinoho peremishchennia kil'tsepodibnykh detalei [Development and research of external and internal grippers for inter-operational movement of ring-shaped parts]. *Prohresyvni tekhnologii v mashynobuduvanni: zbirnyk naukovykh prats XIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, Lviv-Zveniv, 18 liutoho – 21 liutoho 2025 roku [Progressive technologies in mechanical engineering: collection of scientific papers of the XIII International scientific-practical conference, Lviv-Zveniv, February 18 – February 21, 2025] (pp. 70–73). [in Ukrainian].
14. Briot, S., & Bonev, I. A. (2010). Accuracy analysis of 3T1R fully-parallel robots. *Mechanism and Machine Theory*, 45(5), 695–706. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.04.002>
15. Staicu, S. (2011). Dynamics of the 6-6 Stewart parallel manipulator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(1), 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.07.011>

## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОТУЖНІСТЬ У ГРАВІТАЦІЙНОМУ ЗМІШУВАЧІ

Ростислав Рудик, аспірант <sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-8386-977X),

Віктор Вірченко, доцент, к.т.н., доцент <sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-5346-9545),

Роман Сальніков, аспірант <sup>1</sup> (ORCID: 0009-0001-0408-4358),

Юрій Кузуб, аспірант <sup>1</sup> (ORCID: 0009-0006-8463-3914),

<sup>1</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаценка 24, 36011, Україна

**АНОТАЦІЯ.** Розглянуто основні чинники, що впливають на енергоспоживання гравітаційного бетонозмішувача під час приготування бетонної суміші. Проаналізовано вплив обертого та коливального рухів барабана на однорідність суміші та рівень енерговитрат, а також обґрунтовано математичні залежності для розрахунку потужності, необхідної для змішування. Окрема увага приділена енерговитратам, пов'язаним із силами внутрішнього тертя між частинками суміші, а також із процесами завантаження компонентів і вивантаження готового матеріалу. Визначено вплив маси, висоти підйому та конструктивних особливостей механізмів на загальну енергетичну ефективність установки. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації конструкції малогабаритних бетонозмішувачів, підвищення їх автономності та зниження енерговитрат у будівельних умовах із обмеженою інфраструктурою.

**Ключові слова:** гравітаційний бетонозмішувач; бетонна суміш; потужність приводу; змішування; енерговитрати; тертя; будівельне обладнання; автономна установка.

**Вступ.** В умовах зростаючих вимог до мобільності та енергоефективності будівельного обладнання особливого значення набуває оптимізація конструкцій гравітаційних бетонозмішувачів. Застосування таких установок є актуальним для будівництва в умовах будівельного майданчика, а також для відновлення будівель і споруд постраждалих внаслідок воєнних дій. Одним із ключових технічних показників, що визначає ефективність роботи бетонозмішувача, є потужність приводу, яка має враховувати всі елементи енергоспоживання: від обертання барабана до завантаження і вивантаження суміші.

**Аналіз літературних джерел.** У науковій літературі розглянуто різноманітні підходи до оптимізації роботи бетонозмішувачів. Зокрема, досліджено вплив геометричних параметрів,

кінематики руху барабана та фізико-механічних властивостей бетонної суміші на енерговитрати. У статті [1] наведено результати досліджень щодо визначення раціональних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів, зокрема розглянуто геометричні характеристики та параметри руху, що забезпечують якісне перемішування суміші. Автори акцентують увагу на ролі коефіцієнта заповнення барабана, а також враховують вплив сил тертя під час змішування. У статті [3] проведено дослідження впливу добавок до бетонних сумішей на рівень енергоспоживання в процесі їх змішування. Встановлено залежність між в'язкістю суміші та ефективністю змішування, що є важливим для уточнення витрат потужності, пов'язаних із внутрішнім тертям.

**Мета роботи.** Метою дослідження є визначення та кількісна оцінка основних факторів, що впливають на потужність гравітаційного бетонозмішувача під час виконання робочого циклу, а також розробка математичних залежностей для її точного розрахунку з урахуванням обертального та осциляційного рухів, сил тертя, операцій завантаження і вивантаження бетонної суміші.

**Виклад основного матеріалу.** Процес приготування бетонної суміші супроводжується значними енергетичними витратами, які формуються під впливом кількох ключових факторів. До них належать робочий цикл обертання змішувального барабана; наявність вібраційних або коливальних рухів; сили внутрішнього тертя між складовими суміші та поверхнею обладнання [1].

Найбільша частка енергоспоживання припадає на обертання барабана. Це пов'язано з необхідністю подолання масової інерції матеріалу та забезпечення його ефективного перемішування. Потужність, потрібна для обертання барабана, розраховується наступним чином:

$$P_{обр} = M_{обр} \cdot \omega = \omega \cdot (\rho \cdot V_{зам} \cdot g \cdot R_{ср} \cdot \sin \theta + \rho \cdot V_{зам} \cdot \omega^2 \cdot R_{ср}^2), \quad (1)$$

де  $M_{обр}$  – крутний момент, Н·м;  $P_{обр}$  – потужність обертання, Вт;  $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана, рад/с;  $R_{ср}$  – середній радіус, який враховує ефективну площу барабана;  $V_{зам}$  – об'єм суміші у барабані, м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\theta$  – кут нахилу барабана, рад.

Об'єм суміші у барабані визначається:

$$V_{зам} = \left( \frac{2}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) + \pi R^2 H \right) \cdot k_{геом}, \quad (2)$$

де  $k_{геом}$  — коефіцієнт заповнення.

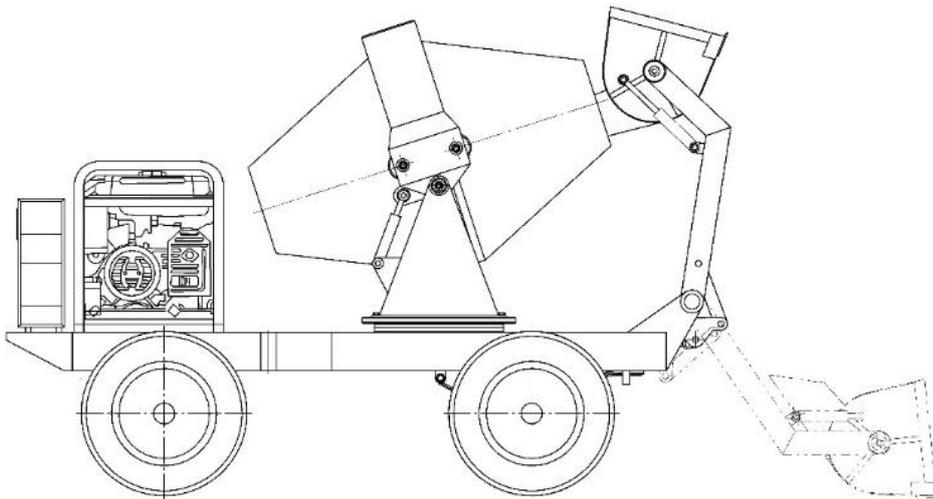


Рис.1. Гравітаційний бетонозмішувач

Осциляційні рухи змішувального барабана значно покращують якість перемішування, забезпечуючи більш однорідний розподіл компонентів у бетонній суміші [2]. Однак ця технологічна перевага супроводжується додатковим споживанням енергії, величина якої визначається трьома основними параметрами: моментом інерції системи, частотою коливань, амплітудою коливального руху.

Для кількісної оцінки цих енерговитрат використовується наступна розрахункова залежність:

$$P_{осц} = \frac{1}{2} m_o R^2 \cdot \theta_o \omega_{осц}^3 \sin(\omega_{осц} t). \quad (3)$$

Процес тертя під час приготування бетонної суміші проявляється у трьох ключових зонах, таких як взаємодія між окремими частинками наповнювача, контакт суміші з внутрішньою поверхнею барабана, взаємодія матеріалу з робочими органами змішувача (лопатями). Для точного розрахунку енерговитрат на подолання сил тертя необхідно враховувати коефіцієнт тертя матеріалів, нормальні сили тиску, особливості руху частинок у процесі змішування.

Враховуючи багатокомпонентність бетонної суміші, втрати на тертя між частинками розраховуються через коефіцієнт тертя між бетонною сумішшю та поверхнею барабана:

$$P_{тертя} = \mu \cdot N \cdot v, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $N$  – нормальна сила притискання між сумішшю та поверхнею барабана,  $N$ ;  $v$  – відносна швидкість руху частинок суміші щодо стінки барабана, м/с.

Процеси завантаження компонентів і вивантаження готової суміші суттєво впливають на загальну потужність обладнання, особливо при використанні автоматизованих систем. Завантаження матеріалів зазвичай здійснюється за допомогою ковшового механізму, встановленого на рамі, тоді як вивантаження відбувається шляхом нахилу барабана. Потужність, необхідна для завантаження компонентів, залежить від маси матеріалів, висоти підйому ковша та швидкості його переміщення [3]. Розрахунок цієї потужності виконується за наступною формулою:

$$P_{завантаж} = \frac{m_{завантаж} \cdot g \cdot h_{підйом}}{t_{завантаж}}, \quad (5)$$

де  $P_{завантаж}$  – потужність завантаження, Вт;  $m_{завантаж}$  – маса компонентів, що завантажуються за один цикл, кг;  $h_{підйом}$  – висота підйому ковша, м;  $t_{завантаж}$  – час завантаження компонентів, с.

Робочий механізм ковша, який відповідає за завантаження компонентів, витрачає енергію на три основні процеси: підйом маси матеріалів, подолання сил тертя в напрямних елементах та опору в гідравліці. Потужність, необхідна для підйомної операції, безпосередньо залежить від сумарної маси ковша з матеріалом та висоти підйому, що виражається наступною розрахунковою залежністю:

$$P_{підйом} = \frac{(m_{ковш} + m_{завантаж}) \cdot g \cdot h_{підйом}}{t_{завантаж}}, \quad (6)$$

де  $m_{ковш}$  – маса ковша, кг;  $m_{завантаж}$  – маса завантажуваних компонентів за один цикл, кг;  $h_{підйом}$  – висота підйому ковша, м;  $t_{завантаж}$  – час підйому ковша, с.

Для точного визначення енерговитрат під час підйому бетонної суміші важливо враховувати сили, що діють на конструктивні елементи механізму переміщення, зокрема на направляючі. Вага вантажу створює нормальне навантаження на ці елементи, що впливає на загальну потужність системи підйому. Нормальна сила на направляючі визначається за наступною формулою:

$$F_{норм} = (m_{ковш} + m_{завантаж}) \cdot g. \quad (7)$$

Далі слід оцінити швидкість руху ковша, від якої залежать як тривалість циклу завантаження, так і відповідна потужність приводу. Швидкість переміщення залежить від висоти підйому та часу, за який здійснюється цей підйом. Швидкість руху ковша визначається за наступною формулою:

$$v_{ковш} = \frac{h_{підйом}}{t_{завантаж}}. \quad (8)$$

З урахуванням усіх складових – маси елементів, сили тяжіння, втрат у системі та швидкості підйому – можна розрахувати потужність, необхідну для приведення в дію приводу, що виконує підйом. Цей показник є критичним для вибору відповідного електродвигуна або іншого джерела енергії. Потужність приводу визначається за наступною формулою:

$$P_{привід} = (m_{ковш} + m_{завантаж}) \cdot g \cdot h_{підйом} \cdot \left( \frac{1 + \mu_{напр}}{t_{завантаж}} \right). \quad (9)$$

Після завершення змішування бетонна суміш вивантажується шляхом нахилу барабана. Цей процес, як і завантаження, супроводжується витратами енергії, які потрібно врахувати для забезпечення оптимальної роботи системи. Потужність, необхідна для вивантаження, залежить від маси суміші, висоти підйому, зумовленої нахилом, та тривалості цього процесу. Потужність вивантаження визначається за наступною формулою:

$$P_{\text{вивантаж}} = \frac{m_{\text{вивантаж}} \cdot g \cdot h_{\text{нахил}}}{t_{\text{вивантаж}}}, \quad (10)$$

де,  $P_{\text{вивантаж}}$  – потужність вивантаження, Вт;  $m_{\text{вивантаж}}$  – маса суміші, що вивантажується, кг;  $h_{\text{нахил}}$  – висота підйому, зумовлена нахилом барабана, м;  $t_{\text{вивантаж}}$  – час нахилу барабана, с.

Таким чином, на основі аналізу основних факторів, що впливають на енерговитрати під час роботи гравітаційного бетонозмішувача за один цикл було отримано узагальнений вираз для розрахунку необхідної потужності:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{обр}} + P_{\text{осц}} + P_{\text{тертя}} + P_{\text{завантаж}} + P_{\text{вивантаж}}. \quad (11)$$

Враховуючи всі перелічені параметри, остаточна розрахункова формула має такий вигляд:

$$P_{\text{заг}} = \omega \cdot (\rho \cdot V_{\text{заг}} \cdot g \cdot R_{\text{ср}} \cdot \sin \theta + \rho \cdot V_{\text{заг}} \cdot \omega^2 \cdot R_{\text{ср}}^2) + \frac{1}{2} m_0 R^2 \cdot \theta_0 \cdot \omega_{\text{сум}}^3 + \\ + \mu \cdot (m_{\text{сум}} \cdot g \cdot \cos \theta + m_{\text{сум}} \cdot \omega^2 \cdot R) \cdot v_{\text{відносна}} + \\ + \frac{(m_{\text{ковш}} + m_{\text{завантаж}}) \cdot g \cdot h_{\text{підйом}} \cdot (1 + \mu_{\text{напр}})}{t_{\text{навантаж}}} + \frac{m_{\text{вивантаж}} \cdot g \cdot h_{\text{нахил}}}{t_{\text{вивантаж}}}. \quad (12)$$

Отже, на основі проведених розрахунків та аналізу впливу окремих технологічних етапів – обертання, осциляцій, тертя, завантаження та вивантаження – сформовано загальний підхід до визначення потужності приводу гравітаційного бетонозмішувача. Отримані залежності враховують фізичні параметри суміші та конструктивні особливості обладнання, що дозволяє підвищити точність розрахунків і забезпечити енергоефективну роботу установок.

**Висновки.** У ході проведеного дослідження було визначено основні фактори, що впливають на потужність, необхідну для ефективної роботи гравітаційного бетонозмішувача. Найбільше енергії витрачається на обертання змішувального барабана, що обумовлено потребою подолання інерції бетонної суміші та забезпечення її якісного перемішування. Потужність приводу при цьому значною мірою залежить від маси матеріалу, геометрії барабана та частоти обертання. Додаткові осциляційні рухи барабана покращують однорідність бетонної суміші, проте призводять до збільшення енерговитрат. Величина цих витрат визначається моментом інерції, амплітудою та частотою коливань, що потребує ретельного вибору параметрів приводу осциляційного механізму.

Важливу роль у формуванні загального енергоспоживання відіграють втрати на тертя, які виникають як між частинками бетонної суміші, так і між сумішшю та внутрішньою поверхнею барабана. Для їх врахування доцільно використовувати показники в'язкості суміші та швидкості її переміщення, що дозволяє більш точно оцінити необхідну потужність.

Крім того, процеси завантаження компонентів і вивантаження готової суміші також супроводжуються витратами енергії. Ці витрати залежать від маси матеріалів, висоти підйому та тривалості відповідних операцій. Їх необхідно враховувати під час проектування приводу, особливо для мобільних і автономних установок.

#### Список використаних джерел:

1. Nazarenko, I.I., Klymenko, M.O., Svidersky A.T., Pecherskyi V. (2017) Vyznachennia ratsionalnykh parametriv hravitatsiinykh betonozmishuvachiv [Determination of rational parameters of gravity concrete mixers]. *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* - Mining, construction, road and land reclamation machines, 90, 67-72[in Ukrainian].
2. Пат. 159089 Україна. МПК В28С 5/00, С04В 40/00 (2025.01). Спосіб змішування бетонних сумішей / Рудик Р.Ю., Вірченко В.В., Сальніков Р.Ю.; власник : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – u 2024 04718; заявл. 01.10.2024; опубл. 24.04.2025, Бюл. № 17.
3. Arularasi, V., Pachiarappan, T., Avudaiappan, S., Raman, S. N., Guindos, P., Amran, M., Fedjuk, R., & Vatin, N. I. (2022). Effects of Admixtures on Energy Consumption in the Process of Ready-Mixed Concrete Mixing. *Materials*, 15(12), 4143. <https://doi.org/10.3390/ma15124143>