



УДК 693.542.523

## ПРОГНОЗУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНИХ БЕТНОЗМІШУВАЧІВ

*І.І. Назаренко, М.О. Клименко\**

*Київський національний університет будівництва і архітектури,  
03680, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, klymenko.2012@gmail.com*

**АНОТАЦІЯ.** Проаналізовані сучасні конструкції та методики розрахунку основних конструктивних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів та визначені вірогідні межі зміни цих параметрів для різних конструкцій змішувальних барабанів та режимів їх роботи. Виконано порівняння результатів, що отримані в попередніх дослідженнях з результатами інших авторів, а також даними, отриманими з технічних джерел. Зроблений аналіз має на меті встановлення прогнозних референсних значень основних конструктивних параметрів для новостворених гравітаційних барабанних змішувачів.

**Ключові слова:** гравітаційних барабанний змішувач, форма барабана, конструктивні параметри, потужність, об'єм, частота обертання

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ

*И.И. Назаренко, Н.А. Клименко\**

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
03680, Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина, klymenko.2012@gmail.com*

**АННОТАЦИЯ.** Проанализированы современные конструкции и методики расчета основных конструктивных параметров гравитационных бетоносмесителей и определены вероятные границы изменения этих параметров для различных конструкций смесительных барабанов и режимов их работы. Выполнено сравнение результатов, полученных в предыдущих исследованиях с результатами других авторов, а также данными, полученными по техническим источникам. Сделанный анализ имеет целью установление прогнозных референсных значений основных конструктивных параметров для вновь гравитационных барабаных смесителей.

**Ключевые слова:** гравитационных барабанний смеситель, форма барабана, конструктивные параметры, мощность, объем, частота вращения

## FORECASTING OF BASIC STRUCTURAL PARAMETERS OF CONCRETE DRUM MIXERS

*I.I.Nazarenko, M.O. Klymenko\**

*Kyiv National University of Construction and Architecture  
03680, Povitroflotsky av.31, Kyiv, Ukraine, klymenko.2012@gmail.com*

**ABSTRACT.** The modern models and calculation methods of the basic construction parameters of drum concrete mixers are analyzed and the limits of the probable change of these parameters for the various designs of the mixing drums and their modes of operation are determined. There are comparison of the results obtained in previous studies with the results of other authors, as well as the data obtained from technical sources. The analysis is aimed at establishing predictive reference values of the basic design parameters for newly created gravity drum mixers.

**Key words:** gravity drum mixer, drum shape, design parameters, power, volume, speed of rotation

### **Постановка проблеми.**

В сучасних реаліях індивідуального об'єктного будівництва гравітаційні змішувачі мають переважне використання, особливо, якщо брати до уваги виконання робіт на яких не потребується надзвичайних об'ємів але які, тим не менш, вимагають досить великої продуктивності та економного енергоспоживання. Таким чином, не зважаючи на певні вади

та обмеження в можливому використанні, гравітаційні змішувачі і надалі будуть важливими на будівельному майданчику. Огляд існуючих конструкцій циклічних бетонозмішувачів гравітаційного перемішування показує, що їх робочий процес залишається слабодослідженим, конструкції неоптимізованими, а сам процес змішування дуже не ефективним.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Останні дослідження, які проводяться вітчизняними і закордонними дослідниками, суттєво змінили сучасне уявлення про процес перемішування та методи розрахунку конструктивних параметрів змішувачів. В роботі [1] Голуб Г.А. та Ачкевич О.М. обґрунтували умову підвищення рівномірності змішування шляхом рівномірного розподілу матеріалу по поверхні завалу суміші спадаючим з перемішуючої лопатки потоком. Авторами була розроблена математична модель для визначення величини кутової швидкості барабанного змішувача, за якої матиме місце повне розосередження матеріалу по вільній поверхні сегменту суміші спадаючим потоком матеріалу з лопатки. Науменко Ю.В. [2], розглянувши режими течії в камері обертового барабана, встановив умови підвищення ефективності робочого процесу барабанного змішувача.

Коновалов В.В. і Дімітрієв М.В. [3, 4, 7-8] виконавши експериментальні дослідження впливу ширини лопатей барабанного змішувача і їх кількості, а також кута нахилу барабана змішувача, обґрунтували кількість лопатей, їх ширину та кут нахилу осі обертання барабана змішувача на підставі даних нерівномірності вмісту добавок у суміші.

Ішкін Ю.Д. [5] проаналізувавши робочі параметри гравітаційних бетонозмішувачів, запропонував залежність між об'ємом барабана, об'ємом змішуваних компонентів і частотою обертання барабана.

Кузнецов Г.А., Зяблов С.Ф. наводячи результати експериментальних досліджень з визначення оптимальної частоти обертання барабана і оптимальних передавальних чисел механічних передач електромеханічного приводу гравітаційних бетонозмішувачів, дали рекомендації щодо застосування різних типів приводів в залежності від сфери використання машин.

Як бачимо, в усіх дослідженнях бракує робіт з визначення встановленої потужності та потужності, що витрачається на перемішування та маси бетонозмішувача.

**Мета і завдання дослідження** полягає у дослідженні особливостей процесу перемішування в гравітаційних бетонозмішувачах та обґрунтуванні вірогідних прогнозних конструктивних параметрів потужності і маси таких змішувачів, які відповідають умовам ефективності перемішування та високій продуктивності змішувачів.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження.**

Питання визначення потужності приводу обертання барабана гравітаційних бетонозмішувачів є одними з найбільш часто виконуваними при дослідженнях даного типу змішувачів. У вітчизняній практиці проектування найбільш широко використовується методика розрахунку потужності двигуна, запропонована у ВНДІБуддормаш. Згідно з нею потужність двигуна визначається за величиною моменту опору, який виникає на валу привода змішувального барабана при провертанні перемішуваної суміші і відхиленні її центра мас від вертикального положення. При цьому розглядаються два положення суміші в барабані (рис.1): барабан знаходиться в своєму положенні перемішування, при якому, в залежності від конструкції змішувача, вісь барабана є горизонтальною або нахилена під певним кутом до горизонту; при цьому приймається, що поверхня суміші є площиною, яка нахилена до горизонту під кутом внутрішнього тертя  $\varphi$  (рис.1, а, б); та положення розвантаження, за яким поверхня суміші розташована під кутом внутрішнього тертя  $\varphi$  до розвантажувального отвору під час нахилу барабана до горизонту (рис.1, в, г).

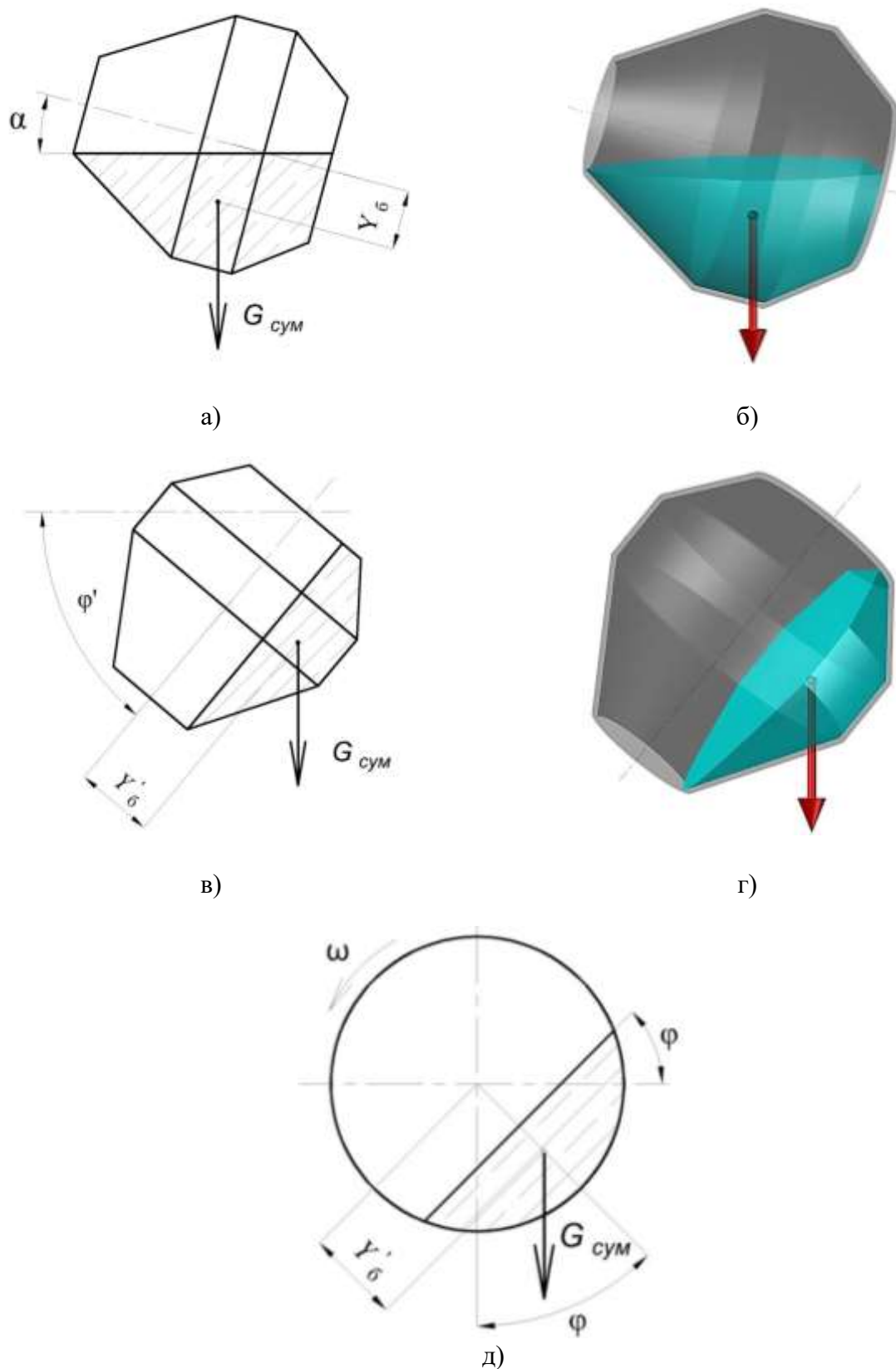


Рис. 1. Схема до розрахунку потужності привода обертання барабана

При цьому крутний момент на осі барабана при його обертанні розраховується за наступними формулами. Для першого положення бетонної суміші

$$M_{оп} = G_{сум} \cdot y_{сум} \cdot \sin \varphi. \quad (1)$$

де  $G_{сум}$  - вага бетонної суміші в барабані;  $y_{сум}$  - координати центра ваги бетонної суміші для першого і другого положення.

Потужність приводу механізму обертання барабана:

$$P_{зм} = M_{зм} \cdot \omega, \text{ Вт.} \quad (2)$$

До остаточної потужності електродвигуна також включається потужність на подолання опору тертя в опорних роликах або в центральному валу, на якому закріплений барабан. Визначення цих величин не представляє ускладнень, а тому не досліджується в даній роботі.

А.А. Новиков на основі виконаних експериментальних робіт гравітаційних бетонозмішувачів визначав потужність бетонозмішувача як:

$$N = K^{3,5} \cdot N_o, \quad (3)$$

де  $K$  – коефіцієнт геометричної подібності;  $N_o$  – потужність базового зразка.

Підрахунок кількості сипучої маси, що перебуває в барабані, пов'язаний з дослідженнями впливу зміни коефіцієнта завантаження вздовж осі барабана на хід процесу перемішування, в ході яких відзначається виняткова важливість цього параметра.

Різноманітність властивостей перемішуваних матеріалів призвело до створення великої кількості конструкцій змішувальних пристроїв, кожен з яких відповідає лише специфічним вимогам окремих виробництв і має обмежену область застосування.

Дослідницькі роботи зі створення нових конструкцій зводяться в основному до підбору експериментальним шляхом оптимальних конструктивних і технологічних параметрів. Відсутність же узагальнення цих результатів у конкретній методиці розрахунку заважає їхньому використанню при створенні нових бетонозмішувачів різних типорозмірів. Перші роботи з узагальнення результатів експериментальних досліджень і поширення отриманих даних на бетонозмішувачі інших типорозмірів були виконані Бауманом В.А. Він використав при вивченні процесу перемішування теорію подібності. Вказавши на залежність процесу перемішування від числа перелопачувань, автор довів, що для забезпечення подібності процесів перемішування достатньою умовою є подібність траєкторій падіння часток суміші в барабані-моделі і натурному зразку при однаковій кількості перелопачувань. Подібність траєкторій падіння матеріалу у двох барабанах забезпечується за умови початку зісковзування часток суміші з лопаті при однаковому куті їхнього підйому в обох барабанах. Умова подібності виводиться автором з рівняння взаємодії сил, що діють на частинку суміші в момент її хиткої рівноваги на лопаті. Умова подібності записується в такий спосіб:

$$\frac{\omega_{ан}}{\omega_n} = \sqrt{\frac{D_n}{D_{ан}}}, \quad (4)$$

де  $D_n, D_{ан}$  - діаметри барабана відповідно нового змішувача і зразка-аналога;  $\omega_n, \omega_{ан}$  - кутові швидкості нового змішувача і зразка-аналога.

Таким чином, Бауман В.А. визначив із співвідношення  $\frac{D_n}{D_{ан}} = k$  масштаб геометричної подібності, а далі а ним інші коефіцієнти подібності:

- для кутової швидкості:

$$k_{\omega} = \sqrt{\frac{D_{ан}}{D_n}} = \frac{1}{\sqrt{k}}.$$



- для лінійної швидкості:

$$k_V = \frac{k}{\sqrt{k}} = k.$$

- масштаб часу:

$$k_t = \sqrt{k}.$$

- коефіцієнт для спожитої потужності:

$$k_P = k^3 \sqrt{k} = \sqrt{k^7}.$$

Розглянуті залежності розрахунку параметрів гравітаційних бетонозмішувачів ґрунтуються на заздалегідь відомих параметрах, які визначають його форму, тобто діаметри та довжини усіх ділянок. Проте, можливе завдання на проектування нового змішувача, коли ці дані невідомі. В більшості випадків задача вирішується шляхом вибору аналога, який визначає форму барабана та геометричні розміри. Залишаючи незмінними по відношенню до аналога або діаметри відповідних частин барабана, або їх довжини, отримують зміну іншого параметра. В першому випадку (при сталих діаметрах) довжина змінюється в  $k$  разів:

$$l_i^H = k \cdot l_i^A. \quad (5)$$

В другому (при незмінних довжинах) – діаметри визначають як

$$d_i^H = \sqrt{k} \cdot d_i^A. \quad (6)$$

де  $l_i^H, l_i^A$  – довжини відповідних ділянок нового змішувача і аналога;  $d_i^H, d_i^A$  – діаметри відповідних ділянок нового змішувача і аналога.

Оскільки в обох випадках зміна тільки одного параметра призводить до зміни кутів твірних конусів, рекомендується підхід, який забезпечує незмінність цих кутів. В такому випадку автор пропонує наступні залежності для довжин і діаметрів

$$l_i^H = \sqrt[3]{k} \cdot l_i^A, \quad d_i^H = \sqrt[3]{k} \cdot d_i^A. \quad (7)$$

Аналіз цих рівнянь вказує на значні ускладнення із вкрай важливим параметром змішувача – співвідношенням поздовжніх і поперечних розмірів барабана. Як бачимо, в якості такого параметра не можна використовувати просте співвідношення  $D_2/L$ , оскільки зміна довжин конічних і циліндричних частин барабана без зміни його загальної довжини  $L$  не відбивається цим співвідношенням, хоча й призводить до об'єктивної зміни форми барабана.

В зв'язку із складністю складання диференціальних рівнянь, які описують гідродинамічний процес, що має місце при змішуванні, основним методом дослідження є експеримент, перенесення результатів якого на групу явищ стало можливим завдяки використанню методів теорії подібності.

Новиков А.А., спираючись на проведені експериментальні дослідження бетонозмішувачів циклічної та безперервної дії, рекомендував приймати коефіцієнт подібності при перерахунках від моделі до натурального об'єкта у вигляді

$$K_N = K^{3,5} \quad (8)$$

де  $K$  – коефіцієнт геометричної подібності.

Для аналізу головних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів були зіставлені конструкції закордонних та вітчизняних машин. До розгляду увійшло 355 моделей пересувних гравітаційних змішувачів, що випускаються іноземними компаніями.

При визначенні залежностей маси змішувача та встановленої потужності його двигуна від об'єму по завантаженню сухими компонентами був використаний метод математичної статистики. Об'єм по завантаженню і маса, об'єм по завантаженню і потужність двигуна розглядалися як одномірні статистичні сукупності. Ці сукупності, тобто парні розподілення числових значень вказаних параметрів, були зображені графічно у вигляді полів кореляції, проаналізовані і математично оброблені (рис.2, рис.3).

Були знайдені рівняння теоретичних ліній регресії для визначення найбільш вірогідних значень маси і потужності двигуна пересувних гравітаційних змішувачів від об'єму по завантаженню сухими компонентами. Як показує математична обробка каталожних даних характеру залежності між зміною потужності та зміною об'єму по завантаженню найкраще всього відповідає рівняння

$$P^{-1} = 0,21486883 + 0,017780453 / V^2 + 0,27061015 e^{-V}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

а зміні маси від об'єму по завантаженню рівняння

$$m = 27,256906 - 601,43492 \cdot V / \ln(V), \text{ кг}. \quad (10)$$

Окремою групою були розглянуті змішувачі важкої серії, призначені для перебезування за швидкохідним транспортним засобом. Рама таких машин повинна бути більш жорсткою, а тому виготовляється з міцніших профілів, що зрештою впливає на масу змішувача (рис.4)

$$m = -103904910 + 103905150 \cdot e^{(V / 336543,728)}, \text{ кг}. \quad (11)$$

Отримані при аналізі значення регресії об'єму, маси змішувача та встановленої потужності двигуна були перенесені на графіки.

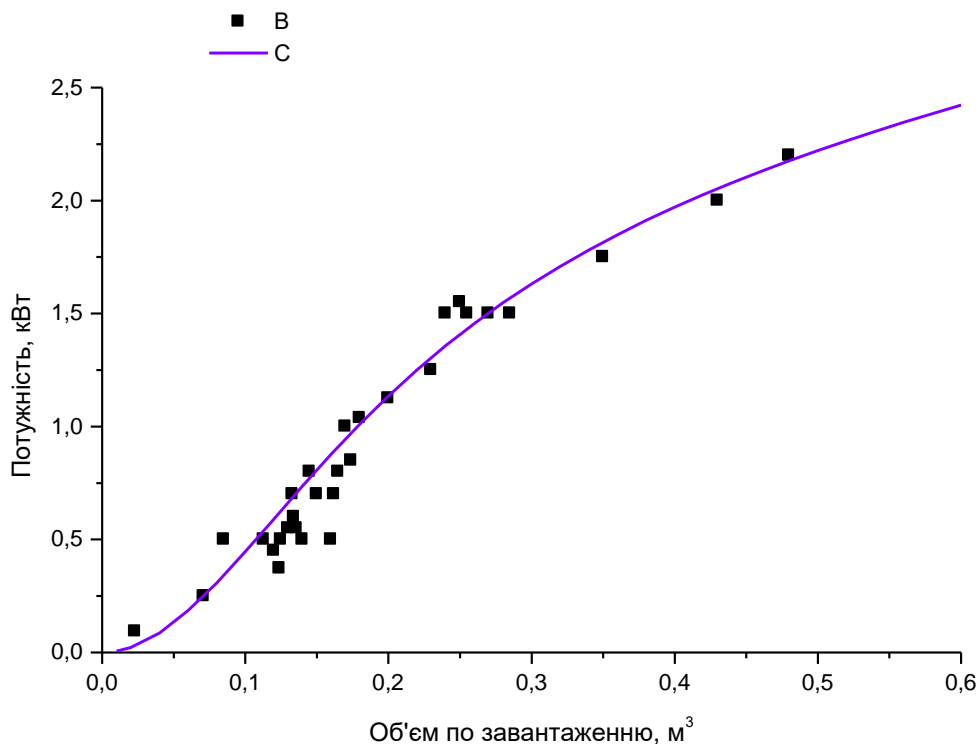


Рис. 2. Залежність потужності двигуна від об'єму по завантаженню

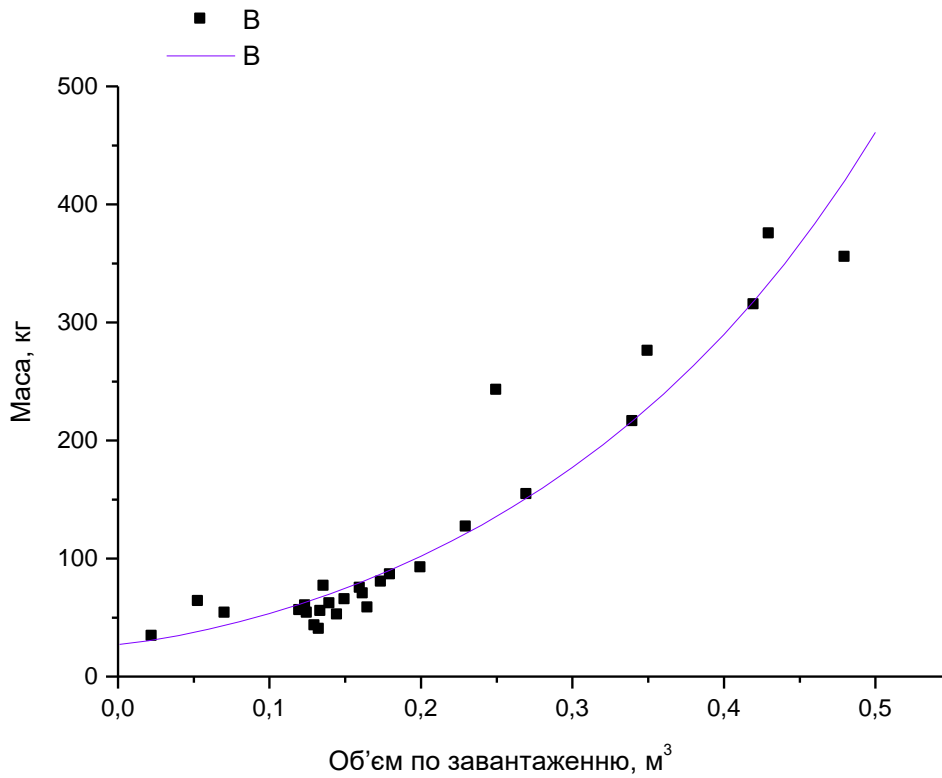


Рис. 3. Залежність маси змішувачів від об'єму по завантаженню

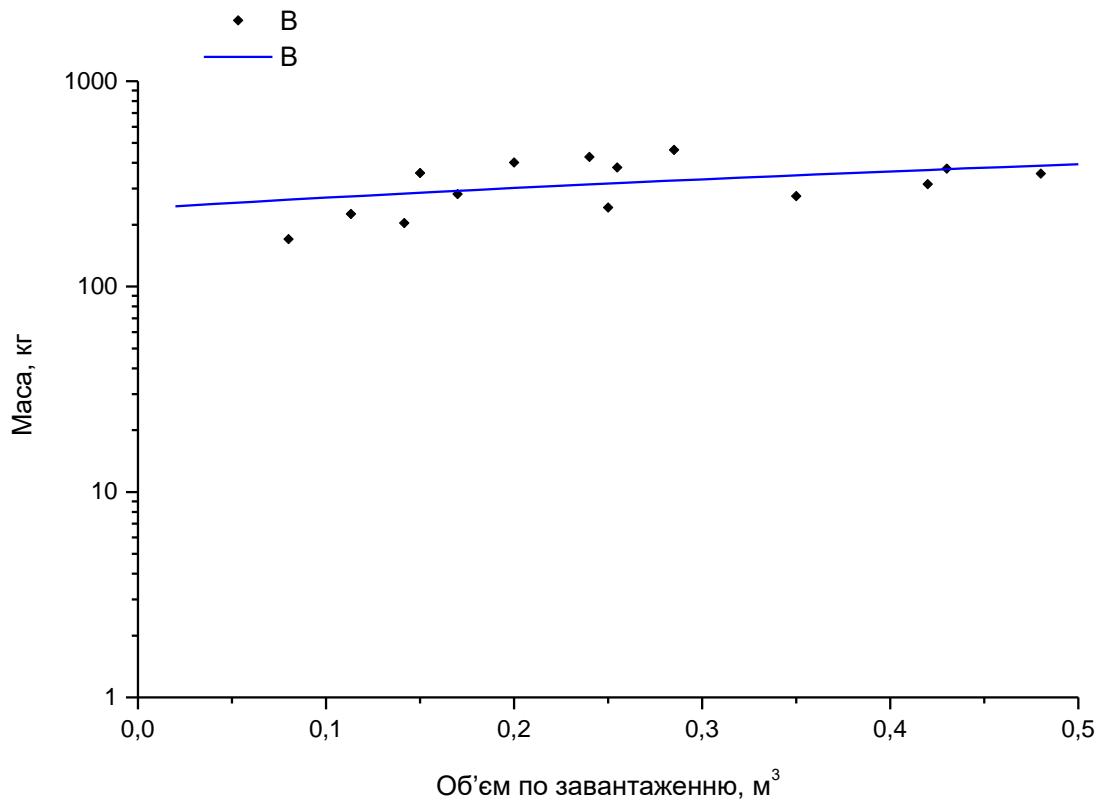


Рис. 4. Залежність маси змішувачів важкої серії від об'єму по завантаженню

**Обговорення результатів дослідження.** Чисельність розробок із різноманітним конструктивним виконанням барабанів вказують на відсутність загального підходу до проектування робочих органів бетонозмішувачів, а, отже, і про недостатнє дослідження

процесів, що відбуваються в барабані. Не зважаючи на велику кількість різноманітних конструкцій, практично усі змішувачі забезпечують продуктивність на рівні не вище 10-12 циклів за годину. Кузнецов Г.А. і Зяблов С.Ф. в роботі [6] подали залежність статичного моменту  $M$  опору барабана перемішуванню піщано-гравійної суміші від маси  $m$  суміші в барабані бетонозмішувача, яка має екстремум за маси суміші близько 40 кг із значенням у 5 Нм, що суттєво відрізняється від отриманих нами значень. Також слід відзначити відмінність характеру кривої об'єму завантаження на рис. 1 в роботі [5] і отриманої в даній роботі залежності (9) потужності привода, яка опосередковано пов'язана з масою перемішуваного матеріалу і, як ми бачимо з рис. 1, має далеко не лінійну залежність.

### Висновки

1. досліджені особливості процесу перемішування в гравітаційних бетонозмішувачах та обґрунтовані раціональні параметри таких змішувачів, а також режими їх роботи для забезпечення підвищення ефективності перемішування та продуктивності змішувачів;
2. наведено вірогідні прогнози конструктивні параметри гравітаційних змішувачів маси та встановленої потужності;
3. виконано порівняння отриманих результатів з даними останніх досліджень українських та закордонних вчених.

### Література

1. Голуб Г.А. Оптимізація величини кутової швидкості змішувачів барабанного типу / Г. А. Голуб, О. М. Ачкевич // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. – 2017. – № 1 (58). – т. 1. – С.194-202.
2. Науменко Ю.В. В'язка течія рідкого завантаження барабанного змішувача / Науменко Ю.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2013. – Вип. 4 (64). – С.276-284.
3. Димитриев Н.В. Обоснование угла наклона барабанного смесителя / Н.В. Димитриев // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 2. Том 10. – Одесса: Куприенко, 2013. – С. 70-73.
4. Димитриев Н.В. Обоснование ширины лопастей барабанного смесителя / Н.В. Димитриев // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 2. Том 10. – Одесса: Куприенко, 2013. – С. 73-76.
5. Ишкин Ю.Д. Анализ рабочих параметров гравитационных бетоносмесителей / Ю.Д. Ишкин // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции. Т. 3. – Тюмень : ТИУ, 2016. – С. 190-193.
6. Кузнецов Г.А., Зяблов С.Ф., Минин В.В. Экспериментальные исследования электромеханического привода гравитационного бетоносмесителя / Г.А. Кузнецов, С.Ф. Зяблов, В.В. Минин // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2015. – №2. – ч.2. Режим доступа: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2993](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2993)
7. Коновалов В. В., Димитриев Н. В., Кшникаткин С. А., Чупшев А. В. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем // Нива Поволжья. 2013. №1 (26). С.46-50
8. Коновалов В. В., Димитриев Н. В., Чупшев А. В., Терюшков В. П. Оптимизация параметров барабанного смесителя // Нива Поволжья. 2013. №4 (29). С.41-47.

### References

1. Holub, H.A., Achkevych, O.M. (2017). Optymizatsiya velychyny kutovoyi shvydkosti zmishuvachiv barabannoho typu [Optimization of the angular velocity of drum type mixers]. *Visnyk Zhytomyr'skoho natsional'noho ahroekolohichnoho universytetu [Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University]*, vol. 1 (58), P.1, 194-202. – (in Ukrainian)
2. Naumenko, U.V. (2013). V'yazka techiya ridkoho zavantazhennya barabannoho zmishuvacha [Viscous fluid flow of the drum mixer]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho*





*hospodarstva ta pryrodokorystuvannya [Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management], vol. 4 (64), 276-284. – (in Ukrainian)*

3. Dymytryev, N.V. (2013). Obosnovanye uhla naklona barabannoho smesyatelya [Justification of the inclination angle of the drum mixer]. *Sbornyk nauchnykh trudov SWorld [Collection of scientific works SWorld], vol. 2, part 10, 70-73. – (in Russian)*

4. Dymytryev, N.V. (2013). Obosnovanye shyriny lopastei barabannoho smesyatelya [Justification of the width of the blades of the drum mixer]. *Sbornyk nauchnykh trudov SWorld [Collection of scientific works SWorld], vol. 2, P.10, 73-76. – (in Russian)*

5. Yshkyn, U.D. (2016). Analyz rabochoykh parametrov hravytatsyonnykh betonosmesyately [Analysis of working parameters of gravitational concrete mixers]. *Novye tekhnolohyy – neftekhazovomu rehyonu: materyaly Mezhdunarodnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy [New technologies for the oil and gas region: materials of the International scientific and practical conference], vol. 3, 190-193. – (in Russian)*

6. Kuznetsov, H.A., Zyablov, S.F., Mynyn, V.V. (2015). Eksperymental'nye yssledovaniya elektromekhanicheskogo pryvoda hravytatsyonnoho betonosmesyately [Experimental Investigations of the Electromechanical Drive of a Gravitational Concrete Mixer]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Ynzhenernyy vestnyk Dona» [Electronic scientific journal "Donbass Engineering Bulletin"], 2, Part.2. – (in Russian)*

7. Konovalov, V.V., Dymytryev, N.V., Kshnykatkyn, S.A., Chupshev, A.V. (2013). Obosnovanye uhla ustanovky emkosty y dlytel'nosty peremeshyvaniya sukhykh smesey barabannym smesyatelyem [Justification of the angle of setting of the capacity and duration of mixing of dry mixtures by a drum mixer]. *Nyva Povolzh'ya, 1 (26), 46-50 – (in Russian)*

8. Konovalov, V.V., Dymytryev, N.V., Chupshev, A.V., Teryushkov, V.P. (2013). Optymyzatsyya parametrov barabannoho smesyatelya [Optimization of the parameters of the drum mixer]. *Nyva Povolzh'ya, 4 (29), 41-47. – (in Russian)*

Надійшло до редакції 25.08.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кузьминець М.П.