

## СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТНОГО РОЗРАХУНКУ ГРАВІТАЦІЙНИХ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

*АНОТАЦІЯ. Розроблена нова методика проектного розрахунку гравітаційних бетонозмішувачів, яка відрізняється від існуючих тим, що з допустимою похибкою охоплює ряд змішувачів. Системне представлення розробленої методики дозволяє застосовувати інформаційні технології для процесу проектування та автоматизації ранніх стадій проектних робіт.*

*Ключові слова: гравітаційний бетонозмішувач, проектний розрахунок, системне моделювання.*

*АННОТАЦИЯ. Разработана новая методика проектного расчета гравитационных бетоносмесителей, которая отличается от существующих тем, что с допустимой погрешностью охватывает ряд смесителей. Системное представление разработанной методики позволяет применять информационные технологии для процесса проектирования и автоматизации ранних стадий проектных работ.*

*Ключевые слова: гравитационный бетоносмеситель, проектный расчет, системное моделирование.*

*SUMMARY. New methodology of project calculation of gravity mixers is worked out, which differs from existing that with a permissible error embraces the row of mixers. System presentation of the worked out methodology allows to apply information technologies for the process of planning and automation of the early stages of project works.*

*Key words: gravity concrete mixer, project calculation, system design.*

### Вступ

У цей час ефективність створення машин багато в чому залежить від швидкості та якості проектування. Здійснити це можливо розробкою нових методик проектного розрахунку, що охоплюють множину машин. Існуючі методи проектування основних видів механічного обладнання не мають цих особливостей. Тому постала проблема в розробці методик, створення яких можливо тільки за допомогою використання методів системного моделювання. Ці методи дозволяють систематизувати матеріали досліджень, виявити та сформулювати задачі та цілі розрахунку. Крім того застосування системного підходу дозволяє використовувати інформаційні технології та автоматизувати ранні стадії проектування основних видів механічного обладнання.

У виробництві будівельних матеріалів для приготування бетонних сумішей та розчинів з дозованих компонентів: в'язкого (цементу), води, хімічних домішок і заповнювачів (піску, щебенів або гравію) використовуються бетонозмішувачі. За способом змішування бетонозмішувачі розділяються на: гравітаційні та примусової дії (роторні).

Гравітаційні циклічні змішувачі характеризуються нескладною конструкцією і кінематичною схемою, можливістю працювати із заповнювачами крупністю 120...150 мм, незначним зношуванням робочих органів, малою енергоємністю процесу, простотою обслуговування й експлуатації, низькою собівартістю. Оптимальний час змішування в таких змішувачах 60...120 с, а повний цикл, включаючи завантаження, змішування, вивантаження й повернення барабана у вихідне положення, - 90...180 с. Вони добре змішують помірно рухливі та рухливі бетонні суміші, але не забезпечують достатньої однорідності твердих і малорухомих бетонних сумішей.

ГОСТ 16349-85 передбачає 13 типорозмірів гравітаційних бетонозмішувачів з обсягом готового замісу бетонної суміші: 33, 65, 165, 250, 330, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 л [4].

Провівши пошук за матеріалами вітчизняних та закордонних джерел за паспортними даними, була визначена множина циклічних гравітаційних бетонозмішувачів. Множина визначена в залежності від об'єму суміші по завантаженню  $V_3 = (50...4500)л$  та потужності приводу

$P = (0,32...30)кВт$ . Даний тип бетонозмішувачів серійно випускається заводами Російської федерації «Строймаш», «Бетонмаш», «Мастек».

### Мета та постановка задачі

Методики по визначенню основних геометричних і робочих параметрів гравітаційних бетонозмішувачів подані в роботах Баумана В.О., Клушанцева Б.В., Морозова М.К., Сергеева В.П., Сівко В.Й., Назаренко І.І. Для аналізу даних методик було проведено огляд по кожному з авторів [1,2,3,5,6]. В результаті огляду встановлено всі існуючі залежності для визначення: основних геометричних розмірів, параметрів робочого процесу та потужності приводу гравітаційного змішувача. Аналіз показав, що спільним недоліком всіх методик є неможливість визначення геометричних розмірів барабана, а саме довжини змішувача та найбільшого бокового діаметра. Для якісної оцінки точності цих методик та спроможності охопити множину гравітаційних бетонозмішувачів, було виконано розрахунки та визначено потужність приводу по кожному змішувачу. Визначена потужність порівнювалась з паспортними даними множини гравітаційних бетонозмішувачів. Результати розрахунків представлені на рис.1.

Потужність приводу (на перемішування суміші)  $P, кВт$

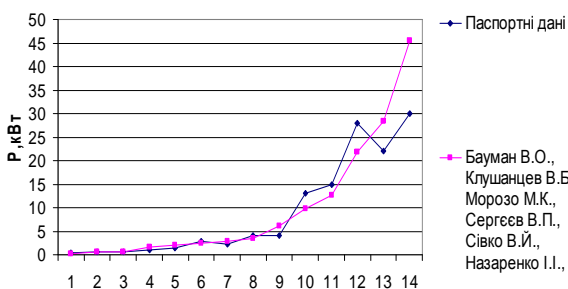


Рис. 1. Результати розрахунку множини гравітаційних бетонозмішувачів за існуючими методиками

Аналізуючи графік (рис. 1) можна зробити висновок, що методики спроможні охопити бетонозмішувачі певних типорозмірів, задовільні результати спостерігаються тільки для бетонозмішувачів з об'ємом по завантаженню до 1200л, для більших

об'ємів спостерігається відхилення від значень паспортних даних.

На цій основі є актуальною розробка нової методики проектного розрахунку, яка відрізняється від існуючих тим, що охоплює множину гравітаційних бетонозмішувачів. Дана методика дозволить проектувати гравітаційні бетонозмішувачі в межах певного діапазону з деякою похибкою, величину якої можна оцінити за допомогою порівняння з характеристиками, що відповідають реальній машині з представленої множини.

Застосовуючи методи системного моделювання дану методику можна представити як систему, що дає змогу впровадити інформаційні технології в процес проектування гравітаційних бетонозмішувачів.

На підставі вище вказаного детально розглянемо методику розрахунку гравітаційного бетонозмішувача, та використовуючи методи системного моделювання представимо її у вигляді системи.

### Виклад основного матеріалу

В загальному вигляді методика розрахунку гравітаційного бетонозмішувача включає визначення геометричних розмірів барабана (діаметр завантажувального отвору, діаметр та довжину барабана), частоти обертання барабана, навантажень (які діють на опорні ролики), визначення потужності двигуна та розрахунок продуктивності [6].

В результаті проведеного аналізу робіт [1,2,3,5,6], було встановлено всі вхідні, довідкові (експериментальні) дані та визначена ціль розрахунку. Принципові схеми множини гравітаційних змішувачів представлені на рис.2.

Нова методика розрахунку основних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів наведена далі з детальним описом прийнятих залежностей та припущень. Розроблена методика включає в себе визначення наступних параметрів:

#### – Основні проектні розміри:

*Зовнішній діаметр барабана* гравітаційного бетонозмішувача визначимо за його продуктивністю. В загальному вигляді об'ємна продуктивність змішувача розраховується за формулою,  $м^3 / год$  [2]:

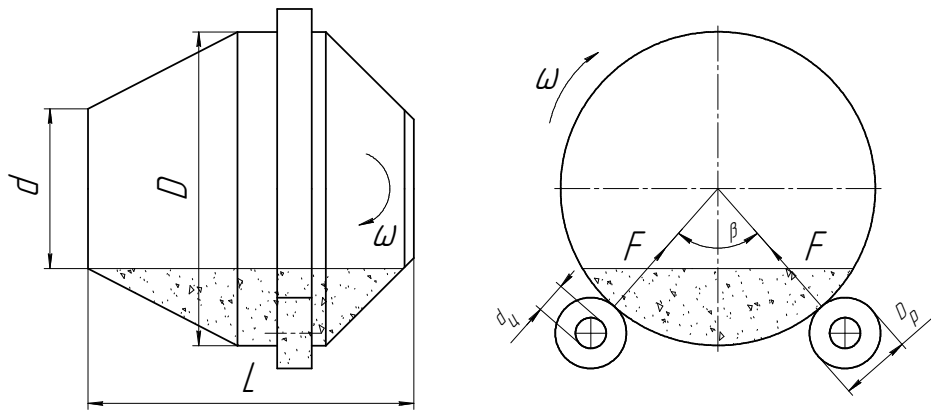


Рис. 2. Принципова схема гравітаційного бетонозмішувача

$$Q = 3600 \frac{V_{z.c.}}{t_u},$$

де  $V_{z.c.}$  – об'єм готової суміші,  $m^3$ ;

$t_u$  – час циклу перемішування, с.

Для визначення діаметра бетонозмішувача розглянемо більш детально кожен складову формули. Об'єм готової суміші  $V_{z.c.}$  зв'язаний з об'ємом завантаження суміші  $V_3$ , коефіцієнтом її виходу  $k_g$ , який дорівнює:

$$k_g = \frac{V_{z.c.}}{V_3}.$$

Значення коефіцієнта виходу суміші складає: для бетонних сумішей  $k_g = 0,65$ , будівельних розчинів  $k_g = 0,75$  [1,2,3,5,6].

Наведені значення коефіцієнта  $k_g$  також підтверджуються на практиці, для множини бетонозмішувачів  $k_g \approx 0,65$

Використовуючи коефіцієнт виходу суміші розраховуємо об'єм готової суміші, який буде дорівнювати:

$$V_{z.c.} = V_3 k_g.$$

Аналіз існуючих методик розрахунку гравітаційних бетонозмішувачів показав, що існує залежність між об'ємом суміші завантаження і діаметром барабана, яка має наступний вигляд [5,6]:

$$D_0 = (1,65 \dots 1,75) \sqrt[3]{V_3}.$$

В наведеній формулі для зручності, числа в дужках позначимо коефіцієнтом:

$$s = (1,65 \dots 1,75).$$

Знайдемо об'єм суміші, що завантажуються:

$$V_3 = \frac{D_0^3}{s^3}.$$

В подальших розрахунках будемо вважати, що  $s = 1,7$ .

Остаточно отримаємо:

$$V_3 = 0,2 D_0^3.$$

В свою чергу залежність для визначення об'єму готової суміші  $V_{z.c.}$ , прийме вигляд:

$$V_{z.c.} = 0,2 D_0^3 k_g.$$

Наступним параметром у формулі для визначення продуктивності гравітаційного бетонозмішувача є час циклу  $t_u$ , він розраховується як сума часу необхідного для завантаження суміші, перемішування та вивантаження, тобто:

$$t_u = t_1 + t_2 + t_3,$$

де  $t_1$  – час завантаження змішувача,

$$t_1 = (15 \dots 20)c \text{ [4,6];}$$

$t_2$  – час перемішування визначається технологією приготування суміші, тому змінюється в широких межах,  $t_2 = (50 \dots 120)c$  [4,6];

$t_3$  – час на вивантаження суміші,  $t_3 = (12 \dots 18)c$  [4,6].

Використовуючи вищевведені залежності, (після перетворень) остаточно отримаємо формулу для визначення продуктивності бетонозмішувача  $Q$ , враховуючи те, що даний тип бетонозмішувачів має циклі-

чну дію, додатково необхідно ввести коефіцієнт використання машини у часі  $k_m$ , згідно методик [1,2,3,5,6] він складає  $k_m = (0,8...0,85)$ .

Остаточо отримаємо  $Q$ ,  $m^3 / год$ :

$$Q = 720 \frac{D_0^3 k_0 k_m}{t_u}$$

З наведеної формули отримаємо розмір діаметра барабана, м:

$$D_0 = 0,113 \sqrt[3]{\frac{Q(t_1 + t_2 + t_3)}{k_0 k_m}}$$

Довжину барабана у співвідношенні з діаметром визначають як здатність забезпечувати рівномірний розподіл вхідних компонентів суміші у будь-якому перерізі по осі барабана. Пояснюється це тим, що відношення  $\frac{D_0}{L}$  впливає на вибір інших розмірів барабана. Аналіз існуючих конструкцій гравітаційних бетонозмішувачів показав, що довжина барабана лежить в межах:

$$L = (0,8...1,2)D_0$$

*Найбільший боковий діаметр барабана:*

Конструктивно цей параметр можна представити залежністю

$$d = (0,5...0,6)D_0$$

**– Рациональний режим роботи:**

Кутова частота обертання барабана  $\omega$  є важливою характеристикою робочого процесу перемішування. Оптимальне значення швидкості зв'язано з коефіцієнтом тертя суміші по внутрішній поверхні, з коефіцієнтом завантаження, а також з діаметром барабана. При збільшеній кутовій швидкості обертання барабана може наступити режим «центрифуги», при якому частинки суміші рухаються тільки коловими концентричними траєкторіями, а перемішування замінюється сегрегацією, оскільки частинки з великою масою прагнуть вийти на більший діаметр.

Підходи по визначенню кузової швидкості за даними різних дослідників – однакові, це доводить аналіз методик розрахунку, результати дослідження яких представлені в табл.1.

У всіх методиках однаковий підхід по визначенню оптимальної кузової частоти.

Для уникнення явища «центрифуги» дослідним шляхом встановлено оптимальні значення коефіцієнта тертя  $f = 0,7$ , що відповідає куту установалення лопатей  $\alpha = 40...50^\circ$  [2].

Таблиця 1

**Швидкість обертання барабана змішувача**

Автори методики	Кутова частота $\omega$ , (рад/с) або кількість обертів, $n$ (об/с)
Морозов М.К.	$\omega \approx \frac{2,2}{\sqrt{D_0}}$
Сівко В.Й.	$n = \frac{0,25...0,35}{\sqrt{R}}$
Назаренко І.І.	$\omega = \frac{2,1...2,4}{\sqrt{D_0}}$

За такою установкою лопатей забезпечується умова співвідношення частот [6]:

$$\omega = 0,55\omega_{кр}$$

де  $\omega_{кр}$  – критична кутова швидкість, рад/с.

Ця швидкість розраховується із рівності у верхній точці барабана відцентрової сили

$m\omega_{кр}^2 \frac{D}{2}$  і сили ваги  $mg$ , тобто:

$$m\omega_{кр}^2 \frac{D_0}{2} = mg$$

Звідки:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2g}{D_0}}$$

де  $m$  – маса частинки, кг.

Таким чином з урахуванням залежності співвідношення частот, формула для визначення оптимальної частоти матиме наступний вигляд:

$$\omega \approx \frac{2,2}{\sqrt{D_0}}$$

**– Зусилля, що діють на конструкцію:**

Зусилля, що діють на опорні ролики, визначають із умови, за якої що суміш перебуває в статичному стані. За існуючими методиками розрахунку гравітаційних бетонозмішувачів встановлено загальний підхід для визначення зусиль.

Згідно робіт [1,2,5,6] зусилля, що діє на опорні ролики гравітаційного бетонозмі-

шувача, для статичного положення бетонної суміші знаходимо із співвідношення:

$$G_{\text{сум}} + G_{\text{б}} = 2F \cos \beta .$$

Звідки зусилля на опорні ролики:

$$F = \frac{G_{\text{сум}} + G_{\text{б}}}{2 \cos \beta} ,$$

де  $G_{\text{сум}}$  – вага бетонної суміші, Н;

$G_{\text{б}}$  – вага барабана гравітаційного бетонозмішувача, Н;

$\beta$  – кут установки роликів, зазвичай він складає  $\beta \approx 30^\circ$  [6].

Розглянемо кожну складову формули більш детально. Вагу бетонної суміші  $G_{\text{сум}}$  можна розрахувати через об'єм по завантаженню суміші  $V_3$  та щільність суміші:

$$G_{\text{сум}} = k_6 V_3 \rho_6 g ,$$

де  $\rho_6$  – щільність бетонної суміші, для розрахунків приймаємо  $\rho_6 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Для знаходження ваги барабана можна скористатися емпіричною залежністю, в якій вага барабана також залежить від об'єму по завантаженню суміші  $V_3$ :

$$G_{\text{б}} = (15 \dots 16) V_3 .$$

Для розрахунків приймаємо, що  $G_{\text{б}} = 16 V_3$ .

Використовуючи наведену вище залежність для визначення діаметра барабана після перетворень отримаємо:

– вага бетонної суміші:  $G_{\text{сум}} = k_6 0,2 D_6^3 \rho_6 g$ ;

– вага барабана:  $G_{\text{б}} = 3,2 D_6^3$ .

Остаточно формула для визначення зусилля на опорні ролики буде:

$$F = \frac{0,1 D_6^3 (k_6 \rho_6 g + 16)}{\cos \beta} .$$

**– Потужність привода:**

При визначенні потужності електродвигуна гравітаційного бетонозмішувача прийнято вважати, що енергія витрачається на подолання сил тертя в опорних частинах барабана та на перемішування суміші:

$$P = \frac{(P_1 + P_2)}{\eta} ,$$

де  $P_1$  – потужність необхідна для подолання сил тертя в опорних частинах барабана;

$P_2$  – потужність, що витрачається на перемішування суміші;

$\eta$  – ККД передачі приводу,  $\eta = (0,8 \dots 0,85)$ .

Згідно розглянутих методик розрахунку основних параметрів гравітаційного бетонозмішувача існують наступні залежності для визначення потужності приводу. Результати дослідження представлені в табл. 2.

Таблиця 2

**Потужність приводу гравітаційного бетонозмішувача**

Автори методик	Потужність приводу бетонозмішувача $P$ , Вт
1	2
Бауман В.О., Клушанцев Б.В., Мартинов В.Д.	барабан на роликах: $P_1 = \frac{(G_{\text{сум}} + G_{\text{б}})(R_{\text{б}} + r_p) k_f \omega}{\cos \gamma_p}$ барабан на вісі: $P_1 = (G_{\text{сум}} + G_{\text{б}}) \mu r_0 \omega$ $P_2 = 2,2 G_{\text{сум}} R n$
Сергєєв В.П.	барабан на роликах: $P_1 = \frac{(G_{\text{сум}} + G_{\text{б}})(R_{\text{б}} + r_p) k_f \omega}{\cos \gamma_p}$ барабан на вісі: $P_1 = (G_{\text{сум}} + G_{\text{б}}) \mu r_0 \omega$ $P_2 = 2,2 G_{\text{сум}} R n$
Морозов М.К.	$P_1 = 2T \left[ \left( \frac{2k}{D} \right) + \left( \frac{\mu d}{D} \right) \right] R_{\text{б}} \omega$ $P_2 = G_{\text{сум}} \nu_{\text{сум}} \omega$
Сівко В.Й.	барабан на роликах: $P_1 = \frac{(G_{\text{сум}} + G_{\text{б}})(R_{\text{б}} + r_p) k_f \omega}{\cos \gamma_p}$ барабан на вісі: $P_1 = (G_{\text{сум}} + G_{\text{б}}) \mu r_0 \omega$ $P_2 = 2,2 G_{\text{сум}} R n$
Назаренко І.І.	барабан на вісі: $P_1 = (G_{\text{сум}} + G_{\text{б}}) \mu r_0 \omega$ $P_2 = 2,2 G_{\text{сум}} R n$
Назаренко І.І.	барабан на роликах: $P_1 = 2T \left[ \left( \frac{2k}{d_p} \right) + \left( \frac{\mu d_u}{d_p} \right) \right] R_{\text{б}} \omega$

Підходи по визначенню потужності, що необхідна для подолання сил тертя в опорних частинах барабана  $P_1$ , у всіх методиках однакова та залежить від конструктивних особливостей бетонозмішувача. У випадку периферійного приводу барабана, коли він спирається на опорні ролики, вона складається із сили кочення роликів по бандажу  $F_k$  та сили тертя  $F_T$  у цапфах роликів, Н, [6]:

$$F_{on} = F_k + F_T = 2F \left( \frac{2k}{d_p} + \frac{\mu d_y}{d_p} \right),$$

де  $F$  – зусилля, що діють на опорні ролики, Н;

$k$  – плече тертя кочення бандажу барабана по роликах,  $k = (0,8...1) \cdot 10^{-3} \text{ м}$  [3,6];

$d_p$  – діаметр роликів, конструктивно складає  $d_p = (0,15...0,2) D_\sigma$ , приймаємо

$$d_p = 0,18 D_\sigma \text{ м};$$

$\mu$  – коефіцієнт тертя у цапфах роликів,  $\mu = 0,02$  [6];

$d_y$  – діаметр цапф опорних роликів, конструктивно складає  $d_y = 0,25 d_p \text{ м}$ .

Потужність, що витрачається на тертя:

$$P_1 = F_{on} \frac{D_{\text{банд}}}{2} \omega,$$

де  $D_{\text{банд}}$  – діаметр бандажу, визначається з умови, за якої  $D_{\text{банд}} = (1,05...1,1) \frac{D_\sigma}{2}$ , приймаємо, що  $D_{\text{банд}} = 0,55 D_\sigma$ .

Остаточно після всіх припущень та перетворень отримаємо формулу для визначення потужності  $P_1$ :

$$P_1 = 1,1 F D_\sigma \omega \left( \frac{k}{0,09 D_\sigma} + 0,25 \mu \right).$$

Для визначення потужності  $P_2$  існує два підходи [1,2,3,5,6]. Перший підхід оснований на визначенні моментів від невривноваженої частини суміші [2]:

$$M_{\text{сум}} = G_{\text{сум}} y_{\text{сум}} \sin \varphi.$$

При використанні цього способу виникають труднощі по визначенню складових формули, тому її більш доцільно використовувати для уточнення розрахунку визначеної конструкції машини.

Тому для розрахунку потужності  $P_2$ , розглянемо другий метод, який і будемо використовувати в розрахунках. Потужність, необхідну для перемішування суміші, визначають з припущення, що енергія витрачається на піднімання цієї суміші в барабані, що обертається. Вираз для роботи, що витрачається за один цикл циркуляції суміші, буде мати вигляд:

$$A = G_{\text{сум}} h,$$

де  $h$  – висота піднімання суміші в барабані, м.

Процес перемішування суміші дуже складний, тому вважають, що потужність необхідна на перемішування, має дві складові. Перша складова необхідна на піднімання суміші лопатями  $P_n$ , друга на подолання сил тертя  $P_T$ :

$$P_2 = P_n + P_T = (G_1 h_1 Z_1 + G_2 h_2 Z_2) n,$$

де  $G_1$  – сила ваги суміші, що піднімається лопатями, Н;

$G_2$  – сила ваги суміші, що піднімається під дією сил тертя, Н;

$h_1, h_2$  – висота піднімання суміші відповідно лопатями та силою тертя;

$Z_1, Z_2$  – число циркуляцій суміші за один оберт барабана відповідно лопатями і за рахунок сил тертя;

$n$  – частота обертання барабана, об/с.

За даними робіт [1,6] прийняті припущення, щодо розподілу суміші між  $G_1$  і  $G_2$ :

$$G_1 = 0,15 G_{\text{сум}},$$

$$G_2 = 0,85 G_{\text{сум}}.$$

Число циркуляцій суміші як в першому, так і в другому випадку приймають однаковими ( $Z_1 = Z_2 = 2$ ) виходячи з таких міркувань:

$$Z_1 = \frac{t_{\text{об}}}{t_1 + t_2},$$

де  $t_1 = \frac{0,374}{n}$  – час, що йде на підіймання суміші лопатями, с;

$t_2 = 0,6 \sqrt{R}$  – час, що відповідає падінню суміші, с;

$t_1 = \frac{1}{n}$  – час одного оберту барабана, с. При визначенні цих параметрів для змішувачів місткістю 500...1500 л. отримаємо, що  $Z_1 = 2$ . Кількість циркуляцій  $Z_2$  встановлюють за умови, що час опускання суміші дорівнює часу її піднімання:  $Z_2 = 2$ .

З врахуванням всіх припущень і розрахунків остаточно отримаємо формулу для визначення потужності на змішування [6]:

$$P_2 = 2,2G_{\text{сум}} \frac{D_6}{2} n.$$

Враховуючи те, що  $G_{\text{сум}} = k_e 0,2D_6^3 \rho_6 g$ , отримаємо:

$$P_2 = 0,035k_e D_6^4 \rho_6 g \omega.$$

Загальна потужність приводу гравітаційного бетонозмішувача з врахуванням

прийнятих для розрахунків  $P_1$  і  $P_2$ , буде дорівнювати

$$P = P_1 + P_2.$$

Згідно принципам системності представимо проектний розрахунок гравітаційного бетонозмішувача у вигляді системи (рис.3).

За розробленою методикою були проведені розрахунки множини гравітаційних бетонозмішувачів. В якості вхідних даних задавалися значення, що відповідають паспортним даним множини гравітаційних змішувачів. Результати розрахунків представлені на графіках (рис. 4.).

Аналіз результатів розрахунку показав, що для всієї множини змішувачів загальна похибка розрахунку склала не більше 15%.

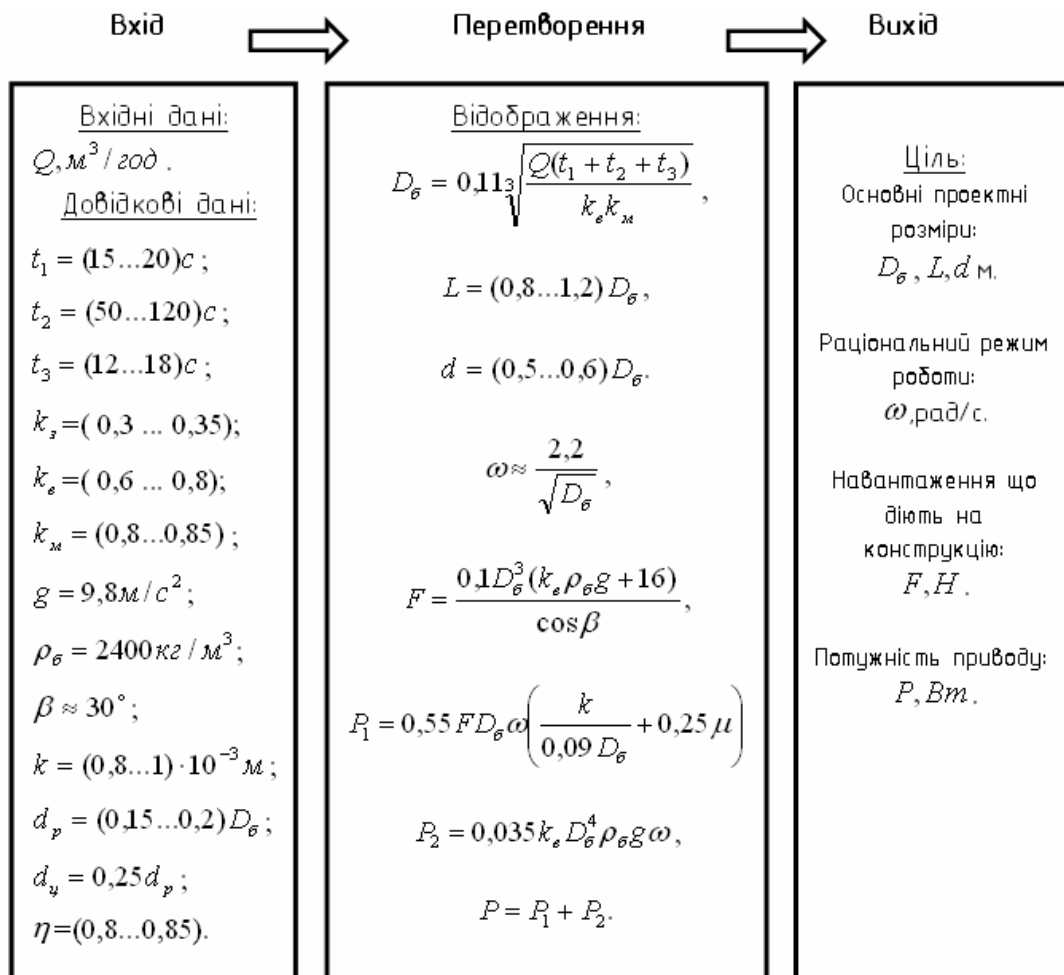


Рис. 3. Системне представлення проектного розрахунку гравітаційного бетонозмішувача циклічної дії

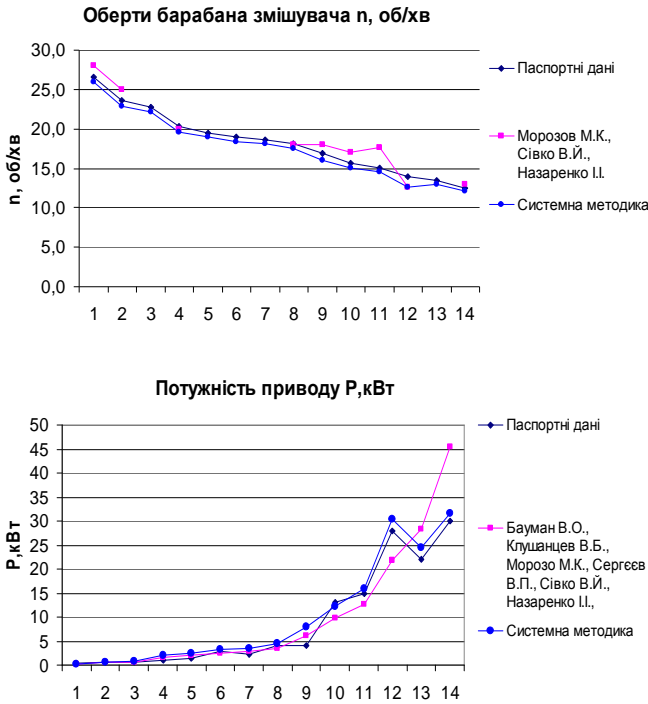


Рис. 4. Результати розрахунку основних параметрів (швидкість обертання, потужність) та порівняння з паспортними даними множини змішувачів

## Висновки

Отримані результати доводять спроможність розробленої методики охоплювати проектним розрахунком не один зразок, а повну множину існуючих гравітаційних бетонозмішувачів. Систематизація існуючих методик дозволила визначити всі вхідні дані, в тому числі довідкові та уточнити їх значення. Похибки розрахунку дорівнюють в середньому 12...15%, що відповідає вимогам попередніх проектних розрахунків. Розроблений алгоритм має системний вид, що дозволяє використовувати інформаційні технології в процесі розрахунку основних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів та автоматизувати ранні стадії проектування, тим самим зменшити трудомісткість проектних робіт та підвищити їх ефективність.

## Література

1. *Бауман В.О.* Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учебник для строительных вузов./ В.О. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. -2-еизд., перераб. –М.: Машиностроение, 1981. – 324с., ил.
2. *Морозов М.К.* Механическое оборудование заводов сборного железобетона/ М.К. Морозов.– 2-е изд., перераб. И доп. –К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 311с.
3. *Сергеев В.П.* Строительные машины и оборудование: Учеб. для вузов./ В.П. Сергеев – М.: Высш. шк., 1987. – 376 с.: ил.
4. *Кузин Э.Н.* Строительные машины: Справочник: В 2 т.,Т.1: Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог/ А.В. Раннев, В.Ф. Корелин, А.В. Жаворонков и др.; Под общ. Ред. Э.Н. Кузина. – 5-е изд., перераб. – М.: Машиностроение,1991. – 496 с.: ил
5. *Сівко В.Й.* Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник./ Сівко В.Й. –К.: ІСДО,1994.- 359 с.
6. *Назаренко І.І.* Машины для виробництва будівельних матеріалів / Назаренко І.І.– Підручник. – К.: КНУБА, – 1999.-488с.

Рецензент: В.Й. Сівко, д.т.н., проф.  
(КНУБА, Київ)

Отримано: 11.04.2011 р.