

РОЗРОБКА СИСТЕМНОЇ МЕТОДИКИ ПРОЕКТНОГО РОЗРАХУНКУ РОТОРНИХ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ ПРИМУСОВОЇ ДІЇ

АННОТАЦІЯ. Розроблена системна методика проектного розрахунку роторних 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: роторний бетонозмішувач, проектний розрахунок, системне моделювання.

АННОТАЦИЯ. Разработана системная методика проектного расчета роторных 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: роторный бетоносмеситель, проектный расчет, системное моделирование.

SUMMARY. System methodology of project calculation of rotor concrete 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: rotor concrete mixer, project calculation, system design.

Вступ

Існуючі методи проектування механічного обладнання не відповідають сучасним вимогам створення машин. Низький рівень автоматизації проектних робіт та неможливість охоплювати однією методикою множину машин призвели до того, що 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 ціль розрахунку. Крім того застосування системного підходу дозволяє використовувати інформаційні технології для автоматизації ранніх стадій проектування основних видів механічного обладнання.

Для приготування жорстких бетонних сумішей широко застосовують змішувачі примусової дії (роторні).

Даний тип бетонозмішувачів буває декількох типів: з коритоподібним корпусом (лоткові змішувачі) і горизонтальними валами, що змішують; з циліндричним корпусом-чашею (роторні або тарілчасті змішувачі) і вертикально розташованими валами, що змішують.

Обов'язковою умовою роботи таких бетонозмішувачів є завантаження його вихід-

ними матеріалами при обертанні ротора. Одночасно з подачею через патрубок дозованих заповнювачів і цементу, по трубі подається відповідна доза води. Змішувальний пристрій при цьому інтенсивно перемішує компоненти в однорідну суміш. Порівнянно із гравітаційними бетонозмішувачі примусової дії більш металоємні і енергоємні, складніші за конструкцією, але забезпечують швидке і високоякісне перемішування бетонних сумішей, різних за рухливістю та жорсткістю [1].

Провівши пошук за матеріалами вітчизняних та закордонних джерел за паспортними даними, була визначена множина роторних бетонозмішувачів примусової дії. Множина визначена в залежності від об'єму суміші по завантаженню $V_s = (100...4500)л$ та потужності приводу $P = (3...120)кВт$. Даний тип бетонозмішувачів серійно випускається заводами Російської федерації «Строймаш», «Мастек», «Бетонмаш».

Мета та постановка задачі

Порівняльний аналіз існуючих методик розрахунку роторних бетонозмішувачів примусової дії було проведено спираючись на роботи В.О. Баумана, Б.В. Клушанцева,

М.К. Морозова, В.П. Сергєєва, В.Й. Сівко, І.І. Назаренко. За даними огляду встановлені всі існуючі залежності для визначення: основних геометричних розмірів, параметрів робочого процесу та потужності приводу.

Аналізуючи результати аналізу, можна зробити висновок, що у всіх роботах підходи до розрахунку параметрів однакові. Спільним недоліком цих методик є неможливість визначення геометричних розмірів лопатей. З метою визначення спроможності даних методик охопити множину роторних бетонозмішувачів примусової дії було виконано розрахунки та визначені ті параметри робочого процесу, які можливо порівняти з паспортними даними множини роторних бетонозмішувачів серійно випускаємих промисловістю. Розрахунки потужності приводу не проводилися у зв'язку з тим, що в існуючих методиках неможливо визначити геометричні розміри лопатей та відповідно радіуси їх обертання. Даний параметр є складовою формули визначення потужності приводу. Результати розрахунку представлені на графіках (рис.1).

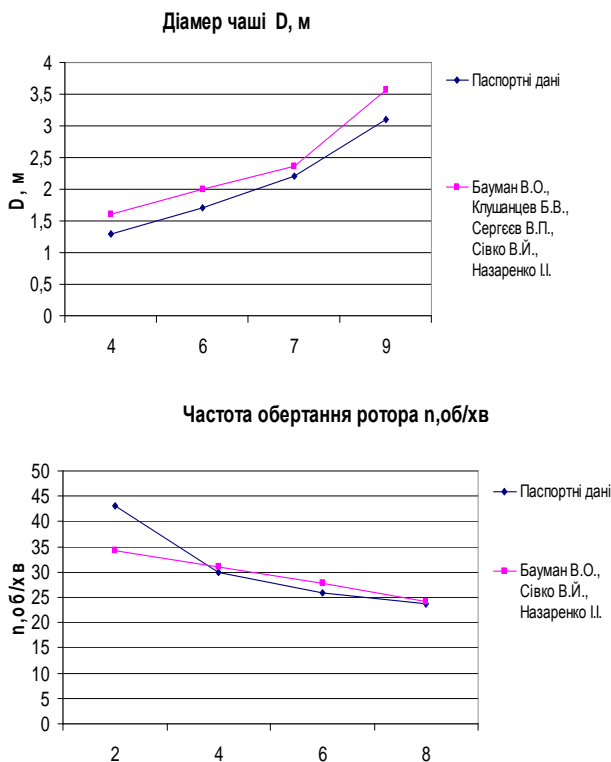


Рис.1 Результати розрахунку множини роторних бетонозмішувачів за існуючими методиками

З графіків видно, що існуючі залежності по визначенню діаметра чаші та частоти обертання ротора, мають деякі відхилення, характер яких нестабільний. В результаті аналізу фактично не вдалося визначити точність існуючих методик, тому що не можливо визначити та порівняти енергетичні показники. Це є значним недоліком в методиках, та пов'язано з відсутністю рекомендацій щодо визначення геометричних параметрів лопатей. Виходячи з результатів розрахунку отримуємо висновок, що існуючі методики орієнтовані на конкретний типорозмір роторних бетонозмішувачів і, в тому вигляді, в якому вони складені - не призначені для розрахунку їх множини.

На цій підставі є актуальною розробка нової методики проектного розрахунку, яка відрізняється від існуючих тим, що охоплює множину роторних бетонозмішувачів. Ця методика дає можливість проектувати роторні бетонозмішувачі в межах певного діапазону з деякою похибкою, величину якої можна оцінити за допомогою порівняння з характеристиками, що відповідають реальній машині з визначеної множини.

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

Детально розглянемо методику розрахунку роторного бетонозмішувача, та використовуючи методи системного моделювання, представимо її у вигляді системи.

Виклад основного матеріалу

В загальному вигляді методика розрахунку роторного бетонозмішувача включає визначення геометричних розмірів чаші, середній радіус обертання лопатей, внутрішній діаметр стакана, кутову частоту обертання ротора, зусилля діюче на лопаті, продуктивність та потужність приводу.[2].

Як наслідок проведеного аналізу робіт [2,3,4,5,6], було встановлено всі вхідні, довідкові (експериментальні) дані та визначена ціль розрахунку. Принципова схема роторного бетонозмішувача представлена на рис 2.

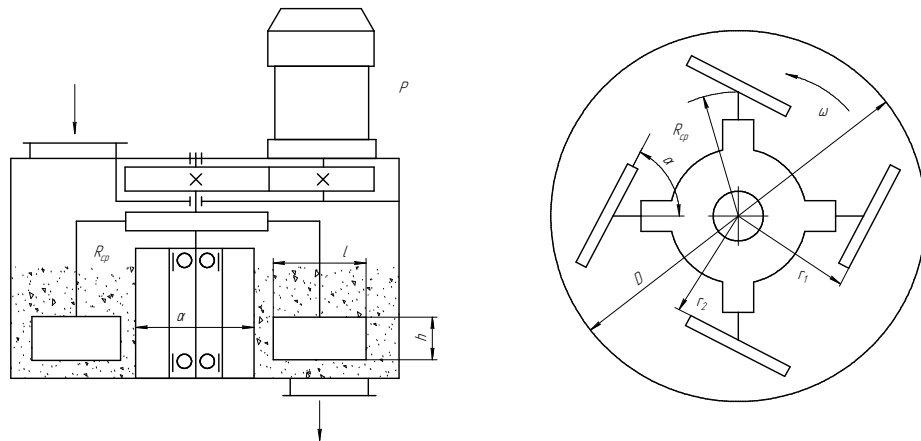


Рис.2 Принципова схема роторного бетонозмішувача

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

- Основні проектні розміри

Внутрішній діаметр чаші D , залежить від продуктивності, яка задається у вхідних даних. В загальному вигляді об'ємну продуктивність роторного бетонозмішувача можна розрахувати за формулою, $m^3/год$:

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

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

t_u – час циклу перемішування, с.

Перед визначенням діаметра чаші бетонозмішувача розглянемо кожну складову формули більш детально. Об'єм готової суміші $V_{z.c.}$ зв'язаний з об'ємом завантаження суміші V_3 коефіцієнтом виходу суміші k_g :

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

Значення коефіцієнту виходу суміші згідно джерел [2,3,4,5,6] складає: для бетонних сумішей $k_g = 0,65$, для розчинів $k_g = 0,75$.

Наведені значення коефіцієнту k_g також підтверджуються практикою. Для множини роторних бетонозмішувачів, було проведе-

но розрахунок результати розрахунку представлені в табл.1.

Використовуючи коефіцієнт виходу суміші отримаємо, що об'єм готової суміші буде дорівнювати:

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

Таблиця 1

Коефіцієнт виходу суміші за паспортними даними роторних змішувачів

Модель змішувача	Об'єм готової суміші, $V_{z.c.}, л$	Об'єм суміші, що завантажується $V_3, л$	Коефіцієнт виходу суміші, $k_g = \frac{V_{z.c.}}{V_3}$
БП-100	65	100	0,65
СБ-242-3	150	225	0,66
БП-250	165	250	0,66
БП-375	250	375	0,66
СБ-242-5	375	560	0,66
СБ - 146А	500	750	0,66
МР-1125	750	1125	0,66
СБ-138Б	1000	1500	0,66
СБ-242-10	2000	3000	0,66
БП-4500	3000	4500	0,66

Внутрішній діаметр чаші D залежить від готового об'єму суміші по завантаженню V_3 та висоти шару суміші в чаші h_c [2,5,6]:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{z.c.}}{\pi h_c}},$$

де h_c – висота шару суміші в чаші, приймається за графіком [2, стр 275].

Геометричний об'єм готової суміші $V_{z.c}$, дорівнює :

$$V_{z.c} = \frac{\pi D^2}{4} h_c.$$

Наступним параметром в формулі по визначенню продуктивності роторного бетонозмішувача є час циклу t_y , він розраховується як сума часу необхідного для завантаження суміші, перемішування, вивантаження та повернення в робоче положення:

$$t_y = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

Використовуючи вищенаведені залежності, після перетворень остаточно отримаємо формулу для визначення продуктивності бетонозмішувача, $m^3/год$:

$$Q = \frac{900\pi D^2 h_c}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}.$$

З наведеної формули визначимо значення внутрішнього діаметру чаші D , м:

$$D = \sqrt{\frac{Q(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}{900\pi h_c}},$$

або підставляючи, константу $\pi = 3,14$, отримаємо:

$$D = 0,019 \sqrt{\frac{Q(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}{h_c}}.$$

Середній радіус обертання лопатей і діаметр внутрішнього стакану. Конструктивно середній радіус обертання лопатей R_{cp} і діаметр внутрішнього стакану d перебувають у співвідношенні до діаметра D , згідно аналізу існуючих методик розрахунку [2,3,4,5,6] :

$$R_{cp} \approx d \approx 0,33D.$$

Висота та довжина лопаті. Ефективність роботи роторного бетонозмішувача К.М. Корольовим запропоновано оцінювати критерієм:

$$\lambda = \frac{v_{cp} F_a}{V_{z.c}}.$$

Виразимо значення F_a , активної площі лопатей, яка дорівнює сумі проєкцій поверхні лопатей на площину, яка перпендикулярна до напрямку руху, m^2 :

$$F_a = \frac{\lambda V_{z.c}}{v_{cp}}.$$

де λ – критерій ефективності змішування. Числові значення критерію ефективності з вертикальним розміщенням лопатевого механізму роторних змішувачів перебувають у межах $\lambda = 0,5...0,6$ [6, стр. 164];

v_{cp} – умовна середня швидкість руху(за рекомендаціями К.М. Корольова), може бути визначена за формулою [2,3,4,5,6]:

$$v_{cp} = \frac{2}{3} \omega_{kp} R_{cp}.$$

Виразимо значення середньої швидкості через D , враховуючи те, що $\omega_{kp} = \frac{3,6}{\sqrt{D}}$ та

$R_{cp} = 0,33D$, після перетворень отримаємо залежність:

$$v_{cp} = 0,8\sqrt{D}.$$

$V_{z.c}$ – об'єм готової суміші виразимо через формулу продуктивності роторного бетонозмішувача.

Геометрично активну площу лопатей можна записати наступним чином:

$$F_a = sh^2 k \cos \alpha,$$

де s – відношення довжини до висоти лопаті $s = \frac{l}{h}$, для роторних бетонозмішувачів

це значення конструктивно складає $s = 1,1...2,2$;

h – висота лопаті, м;

k – кількість лопатей, $k = 4...7$;

α – кут встановлення лопатей, град. Значення кута для роторних бетонозмішувачів складає $\alpha = 15^\circ...40^\circ$.

Підставляючи всі значення складових у формулу ефективності, та враховуючи, що $\lambda = 0,55$, після всіх перетворень отримаємо значення висоти лопаті, м:

$$h = 0,014 \sqrt{\frac{Q t_y}{\sqrt{D s k \cos \alpha}}}.$$

Аналіз конструкцій роторних бетонозмішувачів показав, що відношення довжини лопаті до висоти складає $s = (1,1...2,2)$. Відповідно довжину лопаті можна розрахувати за формулою, м:

$$l = sh.$$

– Рациональний режим роботи

Кутова швидкість обертання лопатей не повинна перевищувати критичну швидкість, за якої відцентрові сили, що діють на частинку, можуть перевищувати силу тертя, внаслідок чого виникне сеграція компонентів суміші. Підходи по визначенню оптимальної кутової швидкості в роботах [3,4,5,6] однакові, результати дослідження зведені до табл.2.

Таблиця 2

Кутова швидкість обертання лопатей

Автор методики	Кутова швидкість обертання лопатей ω , рад/с
В.О. Бауман Б.В. Клушанцев В.Д. Мартинов	$\omega_{кр} \leq \sqrt{gf \frac{1+f}{R}}$
В.Й. Сівко	
І.І. Назаренко	

Представлена у таблиці залежність визначається з умови рівноваги сил тертя $Gf + Qf$ і сил інерції F_i :

$$Gf + Qf = F_i,$$

де f – коефіцієнт тертя суміші по лопаті, $f \approx 0,4...0,5$ [6].

Враховуючи, що сила інерції:

$$F_i = m_2 \omega^2 R,$$

де m_2 – маса частинки, $m_2 = \frac{G}{g}$.

Отримаємо, що:

$$Gf + Qf = \frac{G\omega^2 R}{g}.$$

Звідки знаходимо кутову швидкість обертання лопатей, рад/с:

$$\omega_{кр} \leq \sqrt{gf \frac{1+f}{R}}.$$

Будемо вважати, що $f = 0,5$,

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $R = \frac{D}{2}$, тоді для розрахунку

отримаємо наступну формулу:

$$\omega \approx \frac{4}{\sqrt{D}}.$$

– Зусилля, що діють на конструкцію

Зусилля, що діє на лопать. При розрахунку сил опору вважають, що в процесі руху суміш поводить себе як однорідна в'язка рідина. В загальному вигляді опір переміщенню лопаті у в'язкому середовищі можна визначити за формулою Кармана, яка побудована на законі Ньютона для руху тіла у в'язкому середовищі [3]:

$$p = c\rho v^2,$$

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

v – швидкість руху лопаті, м/с. Дана величина змінна і залежить від радіуса обертання лопаті.

c – коефіцієнт лобового опору, який залежить від в'язкості, складу, властивостей суміші та форми лопаті. Значення коефіцієнта для різних видів суміші наведено в табл. 3 [6].

Таблиця 3

Коефіцієнт лобового опору, c

Вид суміші	Коефіцієнт лобового опору, c
Суміші з важкими заповнювачами (більше значення для жорстких сумішей)	3...9
Будівельні розчини і легкі бетони	1,5...4

Значення коефіцієнта необхідно задавати індивідуально для кожного типу роторного бетонозмішувача залежно від типу суміші, яку необхідно приготувати. Для бетонів приймаємо коефіцієнт лобового опору $c \approx 5...5,5$ [3, стр.112].

Прийняв, що площа проекції лопаті S перпендикулярна до напрямку її руху, можна визначити силу опору:

$$F = Sp,$$

Швидкість руху лопатки v , величина змінна і залежить від радіуса обертання лопаті, для її знаходження можна виділити елементарну площадку та визначити елементарну силу опору.

Остаточна повна сила опору руху лопаті дорівнює [3, стр.112]:

$$F = \frac{1}{3} c\rho h\omega^2 (r_1^3 - r_2^2),$$

де r_1, r_2 – відповідно радіуси обертання початку і кінця лопаті, м. Розміри r_1, r_2 конструктивно пов’язані з кутом установки лопатей α , довжиною лопаті l та середнім радіусом обертання R_{cp} :

$$r_1 = R_{cp} + \frac{l \cos \alpha}{2} \text{ та } r_2 = R_{cp} - \frac{l \cos \alpha}{2},$$

Після підстановки остаточно отримаємо формулу для визначення сили опору, яка діє на лопать роторного бетонозмішувача:

$$F = \frac{1}{3} c \rho h \omega^2 \left[\left(R_{cp} + \frac{l \cos \alpha}{2} \right)^3 - \left(R_{cp} - \frac{l \cos \alpha}{2} \right)^3 \right].$$

Даний підхід дозволяє визначити силу опору на основі врахування інерційних сил, його доцільно використовувати для інженерних розрахунків тому що даний вид опору є головним, при русі лопаті в суміші.

Потужність приводу

Бетонні і розчинні суміші це складні тіла, які одночасно володіють властивостями зв’язно-сипучих тіл і в’язких рідин. Властивості цих сумішей змінюються в процесі перемішування і залежать від швидкості руху робочих органів. З врахуванням цього використання основ теорії гідродинаміки для опису процесів руху суміші ускладнено і для інженерних розрахунків доцільніше використовувати спрощені методи які тим не менш дають достатньо точні результати.

Аналіз існуючих методик розрахунку основних параметрів роторних бетонозмішувачів показав існування кількох підходів по визначенню потужності приводу. Результати дослідження зведені до табл. 4.

Таблиця 4

Потужність приводу роторного бетонозмішувача

Автори методики	Потужність приводу, P , кВт
«ВНИИСтройдормаш»	$P = (28 \dots 30) \frac{L}{d} n^{-0,3} d^{2,3} \varphi^{1,3}$
М.К. Морозов	$P = \frac{1}{4000\eta} c \rho h \omega^3 i (r_1^4 - r_2^4)$
В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартинов	$P = \frac{qh(r_1^2 - r_2^2)\omega k \varphi}{2000\eta}$

В.П. Сергеев В.Й. Сівко	$P = \frac{qh(r_1^2 - r_2^2)\omega k \varphi}{2000\eta}$
І.І. Назаренко	$P = \frac{qh(r_1^2 - r_2^2)\omega k \varphi}{2000\eta}$

Розглянемо кожен підхід більш детально. Формула, запропонована «ВНИИСтройдормаш», виведена на основі експериментальних досліджень та рівняння руху струменів суміші в критеріальній формі на основі теорії подібності. Для опусу руху використовується критерій Ейлера, який виражає відношення лобового тиску до сил інерції; критерій Рейнольда, який виражає відношення сил внутрішнього тертя до сил інерції; критерій Фруда, який виражає відношення сил ваги до сил інерції. Даний підхід враховує багато фізико-механічних властивостей суміші, зокрема динамічну в’язкість μ . Недоліком цього методу є його використання тільки для двовалових горизонтальних бетонозмішувачів.

Підхід, запропонований в роботі М.К. Морозова, визначає енергію на перемішування через коефіцієнт лобового опору c . Недоліком цього підходу є те, що він визначає потужність на основі врахування тільки інерційних сил, як найбільш вагомих.

В більшості робіт [2,4,5,6] запропоновано розраховувати потужність приводу на основі досліджень К.М. Корольова, основного на врахуванні опору через коефіцієнт q , проте на відміну від коефіцієнта c він має розмірність. Даний підхід ми будемо застосовувати в подальших розрахунках.

Фізичний зміст коефіцієнта q полягає в тому, що він визначає собою ефективну напругу в Паскалях, яку необхідно створити для необоротного деформування (перемішування) суміші. Коефіцієнт q можна подати як питому роботу деформування одиниці об’єму суміші, H / m^2 :

$$q = \frac{A}{V},$$

де A – робота, що виконується лопаттю під час руху в суміші, Дж; V – об’єм, що деформується, m^3 .

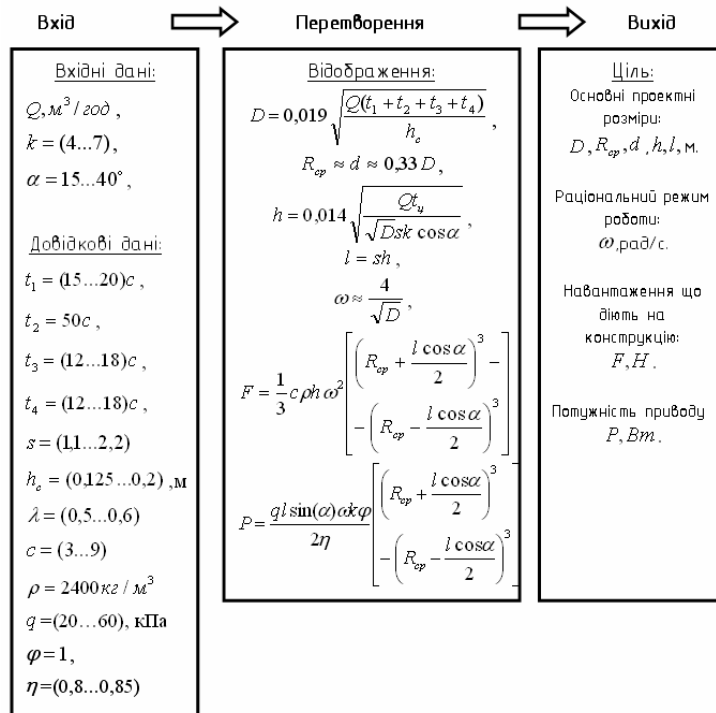


Рис. 3 Системне представлення проектного розрахунку роторного бетонозмішувача

Величина ефективного напруження залежить від складу суміші, кількості води та швидкості руху лопатей. Швидкість руху лопатей повинна бути такою, щоб змішування було інтенсивним без проявлення сегрегації компонентів, яке викликається високою швидкістю. Оптимальна величина швидкості встановлюється опитним шляхом для характерних сумішей та схем лопатевих апаратів. Так для роторних змішувачів раціональний діапазон швидкості руху лопатей знаходиться в інтервалі 2,2...2,6 м/с. Для даного діапазону швидкості дослідженнями К.М. Корольова встановлено, що зі збільшенням води в суміші ефективні напруження спочатку збільшуються, а потім зменшуються. Найбільші значення можливі при відношенні маси води до маси цементу в інтервалі В/Ц=3...4. При розрахунках потужності необхідно приймати значення ефективного напруження для найбільш важких умов роботи змішувача. Значення коефіцієнта опору q для розрахунку потужності роторного бетонозмішувача представлені в табл. 5.

Таблиця 5
Коефіцієнт опору q , кПа, при швидкості руху суміші $v = 1,8...2,0 \text{ м}/\text{с}$

Водоцементне відношення В/Ц	Важкий бетон на крупному заповнювачі		Легкий бетон	Будівельний розчин
	Вапняк	Граніт		
0,3	55	77	20	30
0,4	57	75	25	25
0,5	48	65	18	27
0,6	30	60	15	15

Для змішувачів, які мають однакові відстані лопатей від центра обертання до своїх зовнішніх кромek, потужність буде дорівнювати, Вт:

$$P = \frac{q l b (r_1^2 - r_2^2) \omega k \varphi}{2 \eta}$$

де k – кількість лопатей, $k = (3...7)$;

b – проекція лопаті, перпендикулярна до площини руху $b = l \sin(\alpha)$, м.

φ – коефіцієнт заповнення змішувача, в роторних змішувачах лопаті повністю занурені в суміш, тому $\varphi = 1$ [4, стр. 155];

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

Остаточно після перетворень отримаємо формулу для визначення потужності привода роторного бетонозмішувача, кВт:

$$P = \frac{ql \sin(\alpha) \omega k \phi}{2\eta} \left[\left(R_{cp} + \frac{l \cos \alpha}{2} \right)^3 - \left(R_{cp} - \frac{l \cos \alpha}{2} \right)^3 \right]$$

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

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

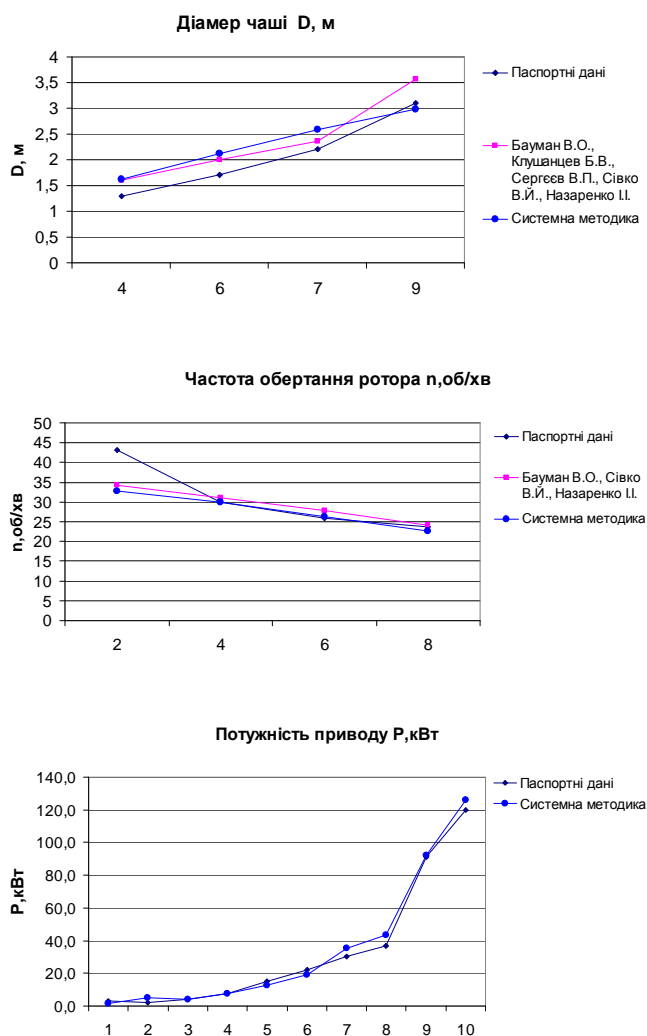


Рис. 4. Результати розрахунку основних параметрів (діаметр чаші, частота обертання ротора, потужність) та порівняння з паспортними даними множини змішувачів.

Висновки

Отримані результати доводять спроможність розробленої методики охоплювати проектним розрахунком не один зразок, а повну множину існуючих роторних 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 роторних 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. *Э.Н. Кузин* 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.
7. *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: 23.05.2011 р.