

Забродський М.М.¹

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЕКТНОГО РОЗРАХУНКУ РОТОРНИХ БЕТНОЗМІШУВАЧІВ ПРИМУСОВОЇ ДІЇ

Вступ. В теперішній час ефективність проектування машин багато в чому залежить від швидкості та якості виконання проектних робіт. Для якісного їх здійснення необхідна розробка нових методик проектного розрахунку, які охоплюють множину машин. Існуючі методи проектування основних видів механічного обладнання не мають цих особливостей. Тому постала проблема в розробці методик, що ґрунтуються на принципах 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).

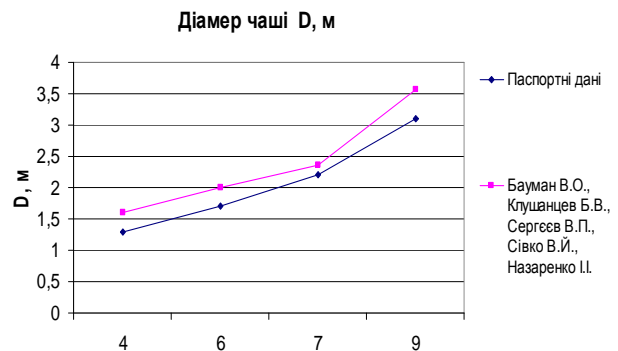
Циклічні бетонозмішувачі примусової дії бувають декількох типів: з коритоподібним корпусом (лоткові змішувачі) і горизонтальними валами, що змішують; із циліндричним корпусом чашею (роторні або тарілчасті змішувачі) і вертикально розташованими валами, що змішують [1].

Провівши пошук за матеріалами вітчизняних та закордонних джерел за паспортними даними, була складена множина роторних бетонозмішувачів примусової дії. Множина визначена в залежності від об'єму суміші по завантаженню $V_3 = (100...4500)л$ та потужності приводу $P = (3...120)кВт$. Даний тип бетонозмішувачів серійно випускається заводами Російської федерації «Строймаш», «Бетонмаш», «Мастек».

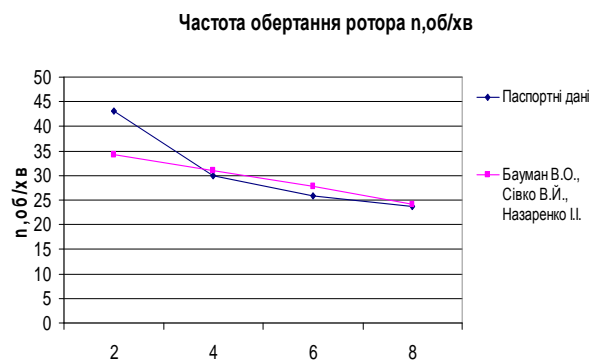
Мета та постановка задачі. Порівняльний аналіз існуючих методик розрахунку роторних бетонозмішувачів примусової дії було проведено спираючись на роботи В.О. Баумана В.А., Клушанцева Б.В., Морозова, В.П. Сергєєва, І.І. Назаренко І.І.. За даними огляду встановлені всі існуючі залежності для визначення: основних геометричних розмірів, параметрів робочого процесу та потужності приводу.

З метою визначенні спроможності даних ме-

тодик 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 формулою потужності приводу. Результати розрахунку представлені на графіках (рис.1).



а)



б)

З графіків а), б) видно, що існуючі залежності по визначенню діаметру 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. Виходячи з результатів розрахунку можна зробити висновок, що існуючі методики орієнтовані на конкретний типорозмір ро-

¹ Забродський М.М. аспірант (КНУБА, Київ).

торних бетонозмішувачів і в тому вигляді, в якому вони існують не призначені для розрахунку їх множини.

На цій основі є актуальною розробка нової методики проектного розрахунку, яка відрізняється від існуючих тим, що охоплює множину роторних бетонозмішувачів

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

На підставі вище вказаного 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].

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

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

$t_{\text{ц}}$ – час циклу перемішування, с.

Щоб перейти до визначення діаметру 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_6 який дорівнює:

$$k_6 = \frac{V_{z.c}}{V_3},$$

В результаті проведеного аналізу робіт [2,3,4,5,6], було встановлено всі вхідні, довідкові (експериментальні) дані та визначені цілі розрахунку. Принципова схема роторного бетонозмішувача представлена на рис 2.

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

- Основні проектні розміри

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

$$Q = 3600 \frac{V_{z.c}}{t_{\text{ц}}}$$

Значення коефіцієнту виходу суміші згідно джерел [2,3,4,5,6] складає: для сумішей $k_6 = 0,65$, для розчинів $k_6 = 0,75$.

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

$$V_{z.c} = V_3 k_6.$$

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] в залежності від об'єму змішувача. Для множини змішувачів, що розглядається

$$h_c = 0,125 \dots 0,2 \text{ м.}$$

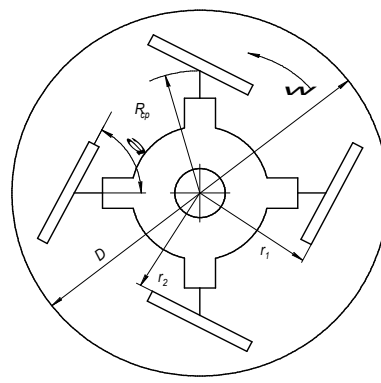
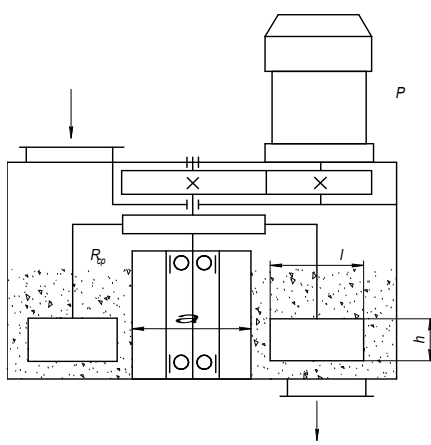


Рис.2 Принципова схема роторного бетонозмішувача.

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

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

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

Використовуючи вище наведені 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 при виразимо значення внутрішнього діаметру чаші D , м:

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

Середній радіус обертання лопатей і діаметр внутрішнього стакана. Конструктивно середній радіус обертання лопатей R_{cp} і діаметр внутрішнього стакана d (наявність d виключає утворення мертвих зон компонентів, що перемішуються) перебувають у співвідношенні до діаметра D , згідно аналізу існуючих методик розрахунку [2,3,4,5,6] дорівнюють:

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

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

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

Звідки виразимо значення F_a , активної площі лопатей, рівної сумі проєкцій поверхні лопатей на площину, яка перпендикулярна напрямку руху, m^2 :

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

де λ – критерій який показує, скільки разів за 1 с, деформується об'єм суміші, що є у змішувачі. Числові значення критерію ефективності з вертикальним розміщенням лопатевого механізму роторних змішувачів перебувають у межах $\lambda = 0,5 \dots 0,6$ [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, $\omega_{kp} = \frac{3,6}{\sqrt{D}}$ 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 $V_{z.c} = \frac{Q t_u}{3600}$.

Геометрично активну площу лопатей можна записати наступним чином:

$$F_a = s h^2 k \cos \alpha,$$

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

значення конструктивно складає $s = 1,1 \dots 2,2$;

h – висота лопаті, м;

k – кількість лопатей, $k = 4 \dots 7$;

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

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

$$h = 0,014 \sqrt{\frac{Qt_u}{\sqrt{Dsk \cos \alpha}}}.$$

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

$$l = sh.$$

– Рациональний режим роботи

Кутова швидкість обертання лопатей. Для забезпечення якісного перемішування умовна середня швидкість лопатей не повинна перевищувати критичну швидкість, при якій 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.

Кутову швидкість обертання лопатей, рад/с:

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

Будемо вважати, що $f = 0,5$, $g = 9,8 м/с^2$,

$R = \frac{D}{2}$, 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 веде себе як однорідна в'язка рідина. В загальному вигляді опір переміщенню лопатки в в'язкому середовищі можна визначити за формулою Кармана, яка основана на законі Ньютона для руху тіла у в'язкому середовищі [3]:

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

де C – коефіцієнт лобового опору, який залежить від в'язкості, складу, властивостей суміші та форми лопатки. Значення коефіцієнту необхідно задавати індивідуально для кожного типу роторного бетонозмішувача в залежності від типу суміші, яку необхідно приготувати. Для бетонів

приймаємо коефіцієнт лобового опору $c \approx 5 \dots 5,5$ [3, стр.112]

ρ – щільність суміші, для розрахунків приймаємо

$$\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$$

v – швидкість руху лопатки, м/с.

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

$$F = Sp,$$

Так як швидкість руху лопатки величина змінна і залежить від радіуса обертання лопатки, можна виділити елементарну площадку та визначити елементарну силу опору.

Остаточно повна сила опору руху лопатки 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 лопатки, м

Розміри r_1, r_2 конструктивно зв'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. Аналіз методик розрахунку основних параметрів роторних бетонозмішувачів показав існування кількох підходів по визначенню потужності приводу.

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.

Розглянемо кожен підхід більш детально. Формула запропонована «ВНИИстройдормаш» введена 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 даного методу є те що він може бути використаний тільки для двовальних горизонтальних бетонозмішувачів.

Підхід запропонований в роботі Морозова М.К. визначає енергію на перемішування через коефіцієнт лобового опору c , недоліком даного 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 Корольова К.М. оснований 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 лопаткою при її русі в суміші, Дж

V – об'єм, що деформується, M^3 .

Величина ефективного напруження залежить від складу суміші, кількості води та швидкості руху лопастей. Швидкість руху лопастей 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 лопатних апаратів. Так для роторних змішувачів раціональний діапазон швидкості руху лопастей знаходиться в інтервалі 2,2...2,6 м/с. Для даного діапазону швидкості дослідженнями К.М. Корольова встановлено, що зі збільшенням води в суміші ефек-

тивні напруження спочатку збільшуються, а потім зменшуються.

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

$$P = \frac{qlb(r_1^2 - r_2^2)ak\phi}{2\eta}$$

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

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

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

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

Остаточо після перетворень отримаємо формулу для визначення потужність приводу роторного бетонозмішувача, кВт:

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

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. 3).

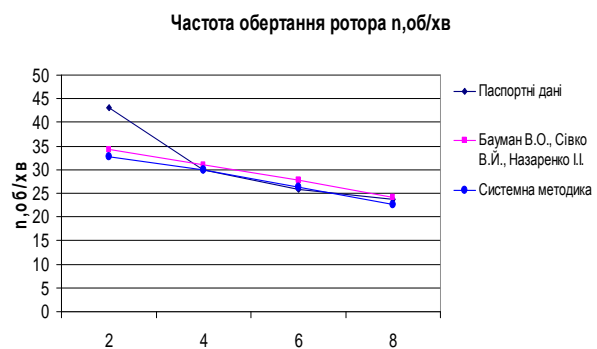
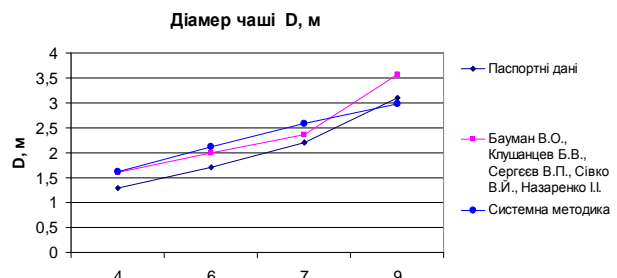




Рис. 3. Результати розрахунку основних параметрів (діаметр чаші, частота обертання ротора, потужність) та порівняння з паспортними даними множини змішувачів.

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-е изд., 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.
6. Назаренко І.І. Машины для производства строительных материалов / Назаренко І.І.– Підручник. – К.: КНУБА, – 1999.-488с.