

УДК 693.542.523

Назаренко І.І., Клименко М.О.¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ «БАРАБАН-СУМІШ» В РОБОЧОМУ РЕЖИМІ ПЕРЕМІШУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ФОРМИ БАРАБАНА

АНОТАЦІЯ. Наведено результати дослідження енергетичної складової процесу взаємодії барабана гравітаційного бетонозмішувача з оброблюваним середовищем з урахуванням форми барабана в робочому режимі перемішування. Запропонований коефіцієнт, який дозволяє оцінити ефективність конструктивного виконання барабана на етапі його проектування.

Ключові слова: гравітаційний бетонозмішувач, енергія перемішування, коефіцієнт форми барабана.

SUMMARY. The research results of the energy component of the interaction of gravitational concrete mixer drum with the work environment are concerned. The ratio that allows evaluating the effectiveness of the drum during its design are proposed.

Key words: drum concrete mixer, mixing energy, drum shape ratio.

Постановка проблеми. Змішування – це процес утворення однорідних систем з сипких та рідких компонентів. Складний механізм цього процесу визначається як фізико-механічними властивостями використаних матеріалів, правильним підбором складу бетону, точним дозуванням, порядком завантаження сировинних матеріалів у змішувач, так і конструкцією змішувача, режимом його роботи і тривалістю приготування суміші.

З часу своєї появи конструкція гравітаційних бетонозмішувачів постійно змінювалася і на сьогоднішній день всі відомі конструкції, які відносяться до класу змішувачів гравітаційного змішування, можуть бути розподілені на три типи [4]: перекидні, неперекідні реверсивні і неперекідні з розвантажувальним лотком. Практикою виробництва та використання гравітаційних бетонозмішувачів в Україні історично акцент був зроблений на перекидних змішувачах. Вони використовувалися в СРСР з часу своєї появи на початку ХХ століття, і завдяки високій продуктивності через великі об'єми барабана та малий час на перемішування практично витіснили неперекідні конструкції з вітчизняної практики. Разом з тим, параметри робочих органів, які призначаються при проектуванні машини для прийнятої конструктивної схеми, визначаються конструкцію робочих органів та конструктивно-технологічну характеристику гравітаційного бетонозмішувача в цілому, проте не враховують ступінь взаємодії барабана з оброблюваним середовищем. Особливо це стосується початкового етапу проектування та оцінки ескізної моделі барабана, які визначатимуть ефективність майбутньої машини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо [1, 2, 5], робочий процес, який відбувається в гравітаційному бетонозмішувачі, полягає в тому, що вихідні компоненти бетонної суміші, які знаходяться в обортовому змішувальному барабані, за рахунок сил тертя та адгезії, а також за допомогою внутрішніх змішувальних робочих органів, закріплених на стінках барабана, піднімаються в процесі його обертання на певну висоту, а потім падають за пара-

Внутрішня поверхня барабана і лопатевий апарат створюють осьові і радіальні потоки, які і забезпечують перемішування. Багатьма дослідниками наголошувалося на складності математичного описання процесів перемішування, які відбуваються в барабані гравітаційного змішувача, що є результатом багатовимірного характеру руху самого оброблюваного середовища [3]. І якщо для змішувачів примусового перемішування Корольовим К.М., Шараповим І.К. та Чемеричко Г.І. були запропоновані критерії ефективності перемішування, які дозволяють оцінити ефективність змішувального апарату, то для гравітаційних змішувачів дана задача залишається відкритою. Аналіз закордонних джерел [11] вказує на те, що найбільше даною проблемою переймаються науковці США, оскільки для них використання рухомих бетонних сумішей є найпоширенішим.

Поряд з цим, треба відзначити результати отримані харківською школою під керівництвом проф. Ємельянової І.А., але їх роботи все ж зсунулися в бік процесів примусового перемішування, а внесок гравітаційних сил враховується досить загальними законами. Неможливість створення коректної математичної моделі в деяких випадках замінюється розробкою нових конструкцій, які покликані поліпшувати процес на макро- та мікрорівнях. Як наслідок, створені конструкції вібраційних барабанних апаратів [10] та додаткових внутрішніх змішувальних елементів [8, 9] суттєво знизили надійність системи, не вирішивши головного завдання – забезпечення якісного перемішування.

Мета дослідження: Виконати дослідження ефективності процесу перемішування шляхом оцінки енергетичної складової процесу взаємодії барабана гравітаційного бетонозмішувача з оброблюваним середовищем з урахуванням форми барабана. Розробити критерій оцінки, який дозволить оцінити ефективність конструктивного виконання барабана ще на етапі його ескізного проектування.

Вклад основного матеріалу. Серед рекомендованих і найбільш поширених методів визначення

¹ Назаренко І.І., д.т.н., професор.; Клименко М.О., к.т.н., доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури.

енергетичних витрат змішувача є розрахунок потужності за статичними моментами

$$P = M_{пер} \cdot \omega = G_{сум} x_c \omega, \quad (1)$$

де $M_{пер}$ – статичний момент на провертання барабана із бетонною сумішшю; $G_{сум}$ – вага суміші в барабані; x_c – відстань від центру ваги до вертикальної осі барабана (рис. 1).

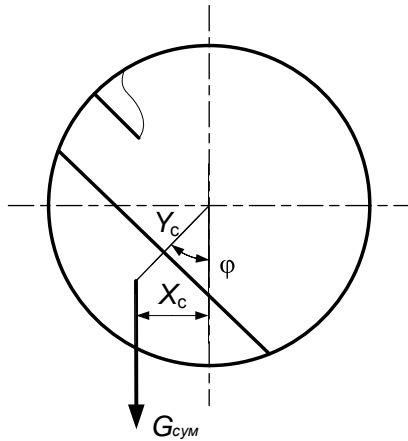


Рис. 1. Еквівалентна схема до визначення моменту на перемішування.

Значення x_c безпосередньо залежить від коефіцієнту тертя суміші, наявності лопатей і координат центру ваги суміші в вертикальній площині. Якщо перший параметр залежить тільки від властивостей суміші, то останні два – від конструкції змішувального барабана, причому останній безпосередньо залежить від його форми і технологічних показників, таких, як кут перемішування α та коефіцієнт завантаження барабана $K_{зав}$. Діючі методики розрахунку пропонують визначати центр ваги по осі ординат як

$$Y_c = (0,64 \dots 0,7) R = (0,32 \dots 0,35) D_i. \quad (2)$$

Проте аналіз існуючих конструкцій дозволив встановити, що в дійсності коефіцієнт при R рідко перевищує значення 0,6–0,61. Крім цього, не враховується нахил барабана змішувача, тобто приймається, що кут при перемішуванні дорівнює 0° . Практично, для більшості існуючих гравітаційних циклічних бетонозмішувачів, кут при перемішуванні становить 12–15° і більше, що, за даними розрахунків, додатково зменшує вищезазначений коефіцієнт на 15-20%. Оскільки кут нахилу осі барабана під час завантаження змішувача звичайно більше або дорівнює куту нахилу в режимі перемішування, а густина суміші під час дозування компонентів і додавання води змінюється від $\rho_{сум,комт.}$ до $\rho_{сум.}$, то статичний момент на перемішування визначається як

$$M_{зм} = \sum_i G_{г.сум.i} \cdot x_{c_i} = g \sum_i (V_{г.сум.i} \rho_i Y_{c_i} \sin \varphi_i), \quad (3)$$

де $G_{г.сум.i}$; $x_{c_i} = Y_{c_i} \cdot \sin \varphi_i$ – поточні значення ваги та абсциси центру ваги (рис.2) окремих складових елементів барабана; $V_{г.сум.i}$; Y_{c_i} ; ρ_i ; φ_i – поточні значення об'єму готової суміші, її центру ваги по осі ординат, щільності і кута тертя для окремих складових елементів барабана.

Залежність $M_{зм}$ від коефіцієнта завантаження барабана $K_{зав}$ (рис. 2) має постійно зростаючий характер, як за рахунок зміни об'єму суміші і положення центру ваги, так і за рахунок зміни густини при зв'язуванні компонентів водою, а також кутів внутрішнього і зовнішнього тертя.

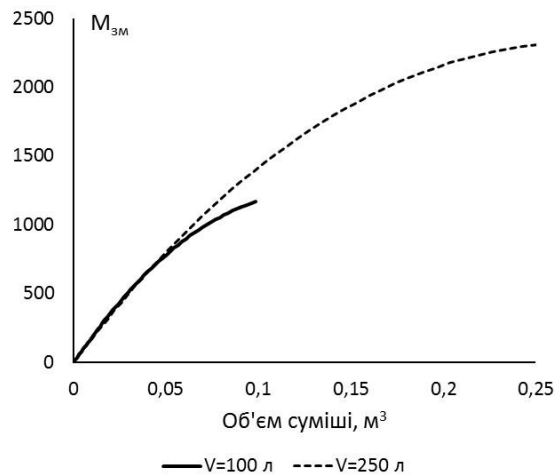


Рис. 2. Залежність моменту на перемішування від об'єму суміші в барабані.

В положенні перемішування при повному завантаженні

$$M_{зм} = A g \rho_{г.сум} V_{г.сум} \frac{D}{2} \sin \varphi, \quad (4)$$

де A – коефіцієнт, що визначається формою і розмірами барабана та наявними лопатями.

Треба зазначити, що момент на перемішування буде зростати при переведенні барабана із положення змішування в положення розвантаження, досягаючи при цьому найбільшого значення. Однак, якщо барабан спроектовано таким чином, що в положенні змішування він заповнений сумішшю до завантажувального отвору, то максимум моменту на перемішування буде припадати на положення перемішування. При нахилі барабана під час розвантаження має місце різке зменшення моменту до мінімуму при повністю порожньому барабані. На рис. 3 побудована залежність кривої моменту на перемішування від кута нахилу змішувального барабана.

На рис. 3 зліва від точки А знаходиться частина кривої, пов'язаної з вивантаженням готової суміші.

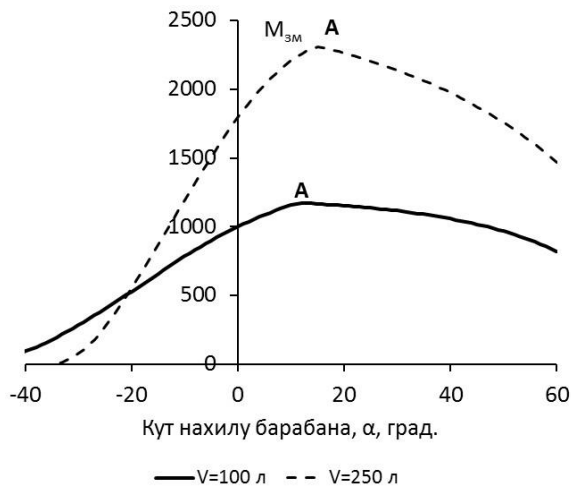


Рис. 3. Залежність моменту на перемішування від кута нахилу осі барабана.

Нахил барабана у зворотній бік до днища змішувача (праворуч від точки *A* на рис.3) також викликає зменшення моменту на перемішування і є пропорційним зміні положення центру ваги $Y_{цв}$ від кута α . Кривизна кривої визначається конструктивними особливостями барабана.

Дослідження впливу того або іншого параметра на коефіцієнт A в залежності (4) на процес перемішування може бути виконано тільки за умови суворого кількісного визначення характеристики параметрів. У цьому зв'язку певні труднощі виникають із одним з найважливіших параметрів бетонозмішувача – пошуком величини, за якою виконується оцінювання барабанів різних розмірів, а особливо різних конфігурацій барабанів в поздовжньому перерізі. Звичайно, що використання абсолютних значень ані поперечних, ані поздовжніх розмірів барабана не прийнятне. З точки зору математичного моделювання та теорії подібності цей параметр мав би бути безрозмірною величиною. Проте, просте співвідношення поперечних і поздовжніх розмірів барабана $\frac{D_{max}}{L}$ в якості

такого показника не може бути використане, оскільки різні поєднання довжини конічних і циліндричних елементів у барабані, а тим більше сферичні елементи, без зміни його загальної довжини не відбивалися б цим співвідношенням, хоча і призводили б до реальної зміни форми барабана. Використаний в подальшому функціональний вираз для визначення співвідношення розмірів барабана - $f(D_i / l_i)$ може бути зручно розкрито введенням коефіцієнта, що враховує форму барабана, $K_{бар}$. Цей параметр повинен кількісно оцінити форму барабана з урахуванням співвідношення конічних, циліндричних, сферичних або будь-яких інших криволінійних елементів, які складають барабан у поздовжньому напрямку. В зв'язку із цим, у коефіцієнт, що враховує форму барабана, вводиться не абсолютне, не середнє, а середнь-

озведене значення діаметра, яке в загальному випадку може бути описане рівнянням

$$\bar{D}_{зв} = \frac{x_1}{L} \cdot 2 \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx \quad (5)$$

де $F(x)$ - функція, яка описує профіль твірної поверхні барабана, x_1, x_2 - значення координати по осі абсцис для, відповідно, початку і кінця барабана в обраній системі координат; $L = x_2 - x_1$ - довжина барабана.

У випадку, коли профіль поверхні барабана заданий кількома поверхнями, що являють собою поверхні обертання навколо поздовжньої осі барабана, залежність для середньозведеного діаметра набуває виду

$$\bar{D}_{зв} = \frac{\sum_{i=1}^n 2 \int_{x_{i1}}^{x_{i2}} F_i(x) dx}{\sum_{i=1}^n (x_{i2} - x_{i1})} \quad (6)$$

де i - номер поверхні, яка утворює профіль барабана. Для барабанів, що складаються з поверхонь тіл обертання із прямолінійними твірними (такими, як конуси та циліндри) середньозведений діаметр запишеться таким чином

$$\bar{D}_{зв} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i + D_{i+1}}{2} \cdot l_i \right)}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (7)$$

Як було зазначено вище, на сьогодні широко застосовуються криволінійні елементи. Найчастіше це стосується перехідної частини до днища (із цього погляду, ідеальною була б сферична поверхня переходу від циліндра до вертикальної площини днища або взагалі використання в якості донного елемента частини сфери) (рис.4).

У цьому випадку середньозведені діаметри визначаються за формулами:

- за наявності конічної, циліндричної та сферичної поверхні дна (рис. 4)

$$\bar{D}_{зв} = \frac{D_0 + D_{max}}{2} l_1 + D_{max} l_2 + 2 \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{R^2 - x^2} dx \quad (8)$$

$$= \frac{x_1}{l_1 + l_2 + (x_2 - x_1)},$$

- за наявності конічної, циліндричної та сферичної перехідної поверхні від циліндра до верти-

кального дна (рис. 5) коли центр сферичної поверхні не лежить на осі обертання барабана

$$\bar{D}_{зв} = \frac{1}{l_1 + l_2 + (x_2 - x_1)} \times \left(\frac{D_0 + D_{max}}{2} l_1 + D_{max} l_2 + 2 \int_{x_1}^{x_2} \left(b + \sqrt{R^2 - a^2 + 2ax - x^2} \right) dx \right), \quad (9)$$

де a, b – координати по осі абсцис та ординат центру дугової поверхні обертання (рис. 5).

Більше того, останнім часом спостерігається тенденція до використання сферичних елементів також замість переднього конуса, а в деяких випадках замінюючи навіть і центральну циліндричну ділянку (рис. 6). Тоді, для середньозведеного діаметра матимемо

$$\bar{D}_{зв} = \frac{1}{(x'_2 - x'_1) + l_2 + (x''_2 - x''_1)} \times \left[2 \int_{x'_1}^{x'_2} \left(b_1 + \sqrt{R_1^2 - a_1^2 + 2a_1x - x^2} \right) dx + D_{max} l_2 + 2 \int_{x''_1}^{x''_2} \left(b_2 + \sqrt{R_2^2 - a_2^2 + 2a_2x - x^2} \right) dx \right], \quad (10)$$

де $a_1, b_1, a_2, b_2,$ – координати по осі абсцис та ординат центрів дугових поверхонь обертання (рис. 6).

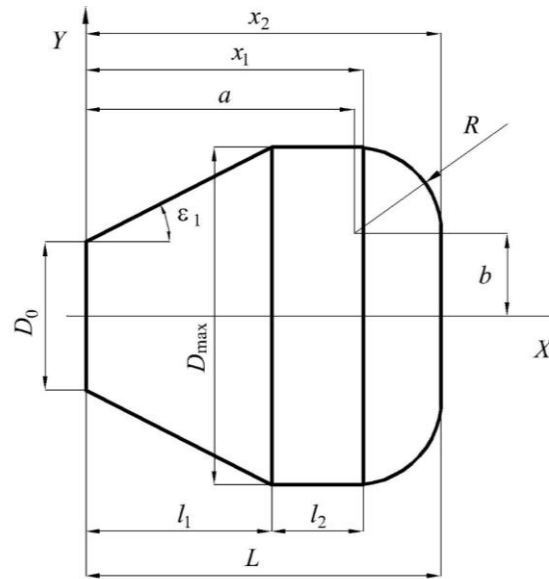


Рис. 5. Барабан з прямолінійними та криволінійні твірними елементами поверхонь.

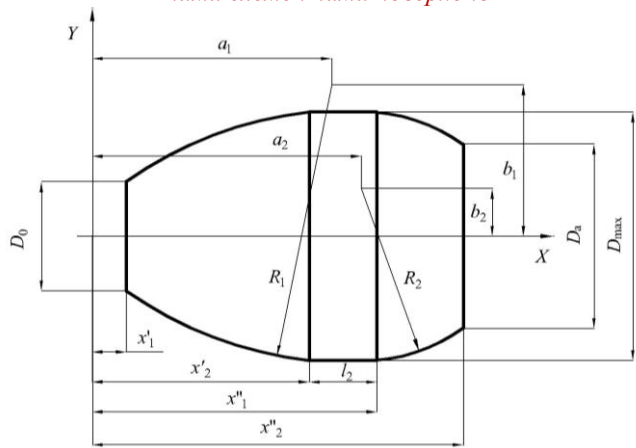


Рис. 6. Барабани з переважно криволінійними твірними елементами поверхонь.

Таким чином, безрозмірний коефіцієнт, що враховує форму барабана, матиме запис:

$$K_{бар} = \frac{\bar{D}_{зв}}{L}. \quad (11)$$

де L – повна довжина барабана, виміряна вздовж його поздовжньої осі.

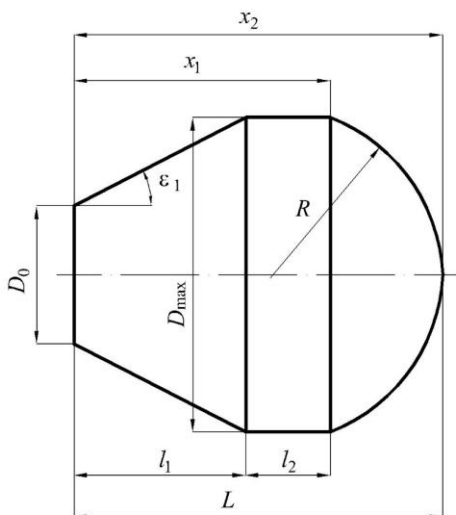


Рис. 4. Барабан з прямолінійними твірними та сферичними елементами поверхонь.

Висновки

1. Виконане дослідження енергетичної ефективності процесу перемішування через оцінку взаємодії системи «барабан гравітаційного бетонозмішувача – бетонна суміш» з урахуванням форми барабана.
2. Розроблений коефіцієнт оцінки, який дозволяє оцінити ефективність конструктивного виконання барабана ще на етапі його попереднього ескізного проектування, що значно спрощує наступне проектування робочого органу гравітаційних бетонозмішувачів.

Література

1. Бауман В.А., др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций: Учебник для строительных вузов. / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1981. – 324с.
2. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
3. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1976. – 145с.
5. Королев К.М. Механизация приготовления и укладки бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
6. Емельянова И.А. Бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия, работающий в каскадном режиме – машина высокой эффективности / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко // Научно-производственный периодический журнал «Наука в центральной России», 2012. – № 1. – С. 76 – 81
7. Емельянова И.А., Анищенко А.И., Плужник А.Н. Уточненная модель движения частицы бетонной смеси с лопатки корпуса бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия // Науковий вісник будівництва, вип. 62, Харків: ХДТУБА, 2011. – С.193–198
8. Пенчук В.А., Лукьянец В.Б., Вешневская В.Г. Эффективное направление модернизации гравитационных бетоносмесителей // Современные проблемы строительства. – Донецк: ДП «Донецкий Промстройниипро-ект», 2011. – с. 185-189.
9. Пенчук В.А. Совершенствование гравитационных смесителей на базе основных положений синергетики / В.А. Пенчук, В.Б. Лукьянец // Современные проблемы строительства– Донецк: ДП «Донецкий Промстройниипро-ект», 2010. – С. 238-242.
10. Серебrenиков А.А. и др. Интенсификация смешивания в гравитационном бетоносмесителе// Строительные и дорожные машины. - 2000. - №12. С. 34-35.
11. ISO 18650-2:2006 Building construction machinery and equipment -- Concrete mixers -- Part 2: Procedure for examination of mixing efficiency. – 2006. – 19p.