

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ
ОРГАНІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ
РОТОРНОГО ЗМІШУВАЧА**

Шляхом аналізу механіки процесу змішування встановлені геометричні параметри робочих органів змішувачів роторного типу та теоретично одержані рівняння для їх визначення та розрахунку потрібної кількості лопатей.

Ключові слова: роторний змішувач, механіка змішування, геометричні параметри змішувального пристрою.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Створення змішувачів примусової дії, які поєднують у собі високі показники продуктивності та якості суміші, що готується, з простотою конструкції та порівняно малими значеннями металомісткості та енергоємності є важливою задачею для промисловості будівельних машин і будівельної галузі України в цілому.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз конструктивних особливостей змішувальних пристроїв [1, 2] показує, що механіка процесів змішування обумовлена, з одного боку, схемою розташування робочих органів у просторі та їх геометричними параметрами, а з іншого боку – відносним рухом часток компонентів суміші, що передбачається кінематикою процесу змішування.

Головним чином, на механіку процесів змішування впливають кінематичні фактори, котрі визначають характер відносного руху часток суміші, що перемішується [3 – 5]. Аналіз питань кінематики процесів змішування [6] під час проектування змішувальних пристроїв дозволяє зробити вибір раціональної схеми розташування робочих органів у просторі, котра, найбільшою мірою, забезпечить основні вимоги, що висуваються до даного обладнання [7 – 12]. А саме: створення складних інтенсивних рухів часток компонентів суміші у процесі змішування; забезпечення максимальної однорідності готової суміші шляхом рівномірного розподілу вихідних матеріалів між собою; попередження утворення окремих, недостатньо змішаних, включень у вигляді грудок і пустот з метою збереження постійності гранулометричного складу.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є підвищення ефективності змішувального обладнання промисловості будівельних матеріалів. Шляхом досягнення поставленої мети є встановлення раціональних геометричних параметрів робочих органів роторного змішувача на основі теоретичних досліджень процесу взаємодії часток суміші з лопаттю змішувача.

Виклад основного матеріалу дослідження. Указані вище вимоги та поставлені завдання можуть бути вирішені шляхом розроблення більш досконалої схеми змішувального пристрою щодо розташування робочих органів, визначення їх кількості та розрахунку геометричних параметрів лопатей, до яких належать динамічний кут атаки α та кут піднімання вихідних матеріалів β (рисунк 1).

Кут α визначає характер зустрічі лопаті з частками вихідних матеріалів та їх переміщення в горизонтальній площині, а кут β – характер переміщення вихідних

матеріалів у вертикальному напрямі відносно робочих органів змішувального пристрою. Таким чином, кути α і β визначають кінематику складного руху часток вихідних компонентів у процесі змішування.

Серед геометричних параметрів динамічний кут зустрічі α є одним із основних [6]. Це пояснюється тим, що він найбільш різноманітно впливає на кінематику процесу змішування, й у першу чергу – на його інтенсивність. Зміна кута піднімання вихідних матеріалів β змінює положення поверхні зустрічі лопаті, а разом із тим змінюється величина опорів, що діють на лопать, за рахунок зміни величини сили тертя [7].

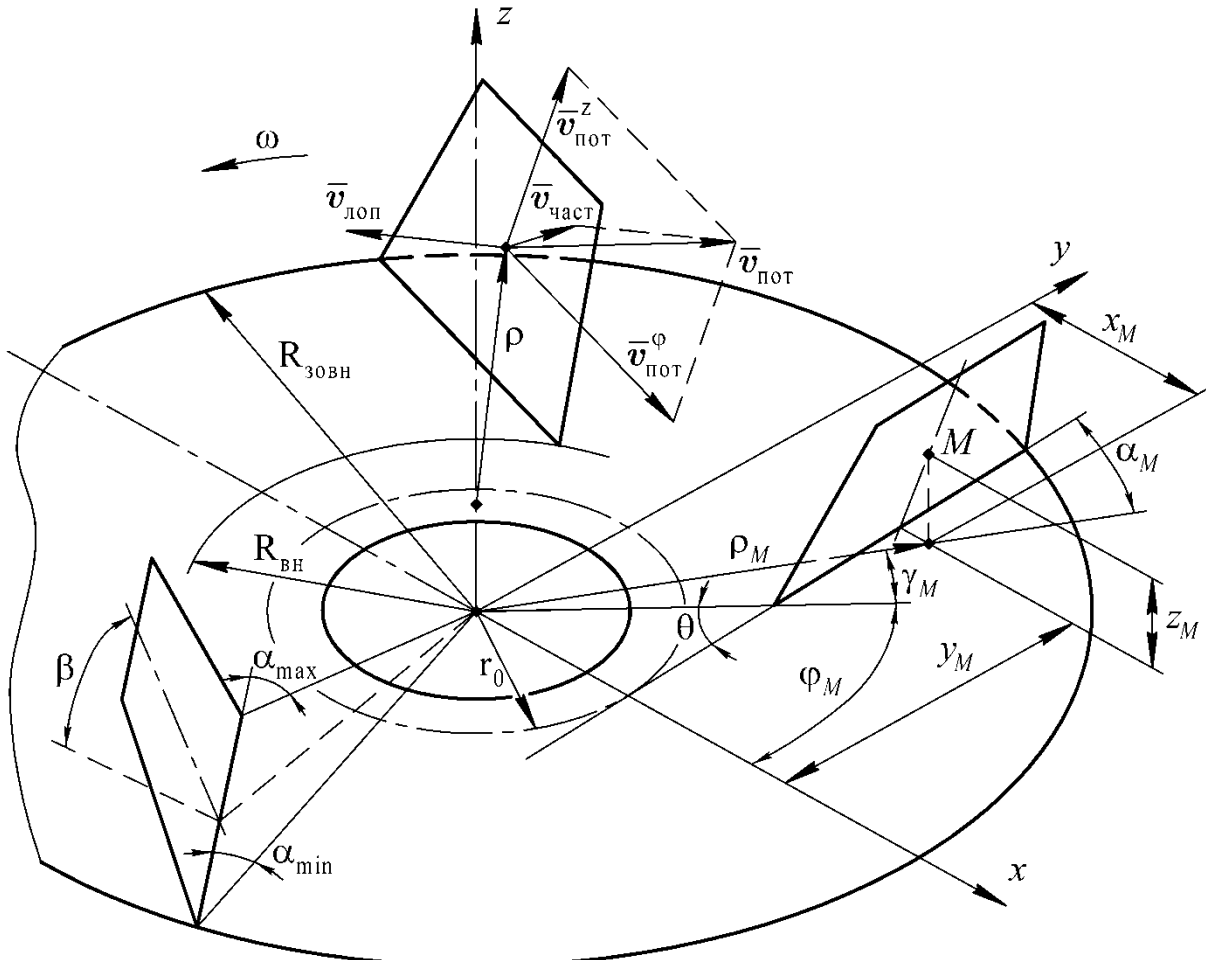


Рисунок 1 – Схема взаємодії лопаток роторного змішувача з частками суміші

Ефективність процесу змішування визначається його інтенсивністю, головним фактором якої є рух робочих органів змішувального пристрою, при якому будь-яка точка поверхні зустрічі лопаті рухається по своєму радіусу зі своєю лінійною швидкістю $\bar{v}_{лоп}$. Одночасно з основними рухами в процесі змішування частки вихідних компонентів набувають і додаткових рухів, наявність яких обумовлюється різними факторами, такими як: розміром фракцій заповнювача, ступенем заповнення чаші змішувача тощо; тому рухи потоків часток вихідних компонентів, задані схемою розташування робочих органів та геометричними параметрами лопатей, є основними, а додатковий рух – вже їх наслідком.

Рух частки вихідних компонентів, що розглядається на миттєвому радіусі рповерхні зустрічі лопаті, відбувається зі швидкістю $\bar{v}_{част}$, яка складається з лінійної

швидкості точки лопаті $\bar{v}_{лон}$ та швидкості частки в потоці $\bar{v}_{ном}$. Відношення останніх складових

$$\frac{v_{ном}}{v_{лон}} > 1 \text{ або } \frac{v_{ном}}{v_{лон}} < 1$$

є кінематичним показником інтенсивності процесу змішування [6].

Різні лінійні швидкості кожної точки поверхні зустрічі лопаті за умови визначеного положення останньої відносно напрямку її руху не забезпечують навіть імовірності виникнення рівномірного руху часток вихідних компонентів у процесі змішування й можуть змінюватися в межах від $v_{лон}^{\min}$ до $v_{лон}^{\max}$. При цьому переміщення часток вихідних компонентів за визначений проміжок часу в процесі змішування відрізняються, оскільки час, за який вони здійснюються однаковий, а їх швидкості різні, що й забезпечує складний рух, який обумовлений функцією параметра поверхні зустрічі лопаті.

Швидкості складного руху окремих часток вихідних компонентів у процесі змішування в роторному змішувачі з вертикальним валом можуть бути визначені такими складовими (рисунок 1): горизонтальною $v_{ном}^{\phi}$, вертикальною $v_{ном}^z$ та разом із лопаттю $v_{лон} = \omega \cdot \rho$, де ω – кутова швидкість лопаті; ρ – миттєвий радіус положення частки, яка знаходиться на поверхні зустрічі лопаті.

Таким чином величина швидкості будь-якої частки вихідних компонентів може бути виражена у вигляді:

$$v_{част} = \sqrt{(v_{ном}^{\phi})^2 + (v_{ном}^z)^2 + (\rho \cdot \omega)^2}. \quad (1)$$

Швидкості часток вихідних компонентів на поверхні зустрічі лопаті на її найбільшому та найменшому радіусах можуть бути представлені у вигляді:

$$v_{част}^{\max} = \sqrt{(v_{ном_{\max}}^{\phi})^2 + (v_{ном}^z)^2 + (R_{зовн} \cdot \omega)^2}, \quad (2)$$

$$v_{част}^{\min} = \sqrt{(v_{ном_{\min}}^{\phi})^2 + (v_{ном}^z)^2 + (R_{вн} \cdot \omega)^2}, \quad (3)$$

де $R_{зовн}$, $R_{вн}$ – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси лопаті.

Відносна зміна швидкості під час руху часток вихідних компонентів по поверхні зустрічі лопаті може бути представлена такою залежністю:

$$S_0 = \frac{\sqrt{(v_{ном_{\max}}^{\phi})^2 + (v_{ном}^z)^2 + (R_{зовн} \cdot \omega)^2}}{\sqrt{(v_{ном_{\min}}^{\phi})^2 + (v_{ном}^z)^2 + (R_{зовн} \cdot \omega)^2}}. \quad (4)$$

Якщо змінити динамічний кут α_M , одержимо нову систему координат (рисунок 2), в якій проекцію v_1 швидкості складного руху частки M вихідних компонентів на площину y_1z_1 можливо представити таким виразом:

$$v_1 = \sqrt{v_M^2 + (v_y \cos \Delta\alpha_M - v_x \sin \Delta\alpha_M)^2}. \quad (5)$$

Вочевидь, максимальна величина швидкості v_1 буде за умови, що вектор $\bar{v}_{част}$ буде знаходитись у площині y_1z_1

$$v_1^{\max} = |\bar{v}_{част}|, \quad (6)$$

а мінімальна – за умови:

$$-v_y \cos \Delta\alpha_M + v_x \sin \Delta\alpha_M = 0. \quad (7)$$

Оскільки $\Delta\alpha_M = \arctg(v_y/v_x)$ маємо $v_1 = v_{z_1} = v_{z_2}$.

Величина відносної зміни швидкості складного руху може бути представлена у вигляді:

$$S \Delta\alpha_M = \frac{V_{\text{част}}}{V_z}. \quad (8)$$

Аналіз кінематичних факторів процесу змішування показує, що геометричні параметри робочих органів змішувача суттєво впливають на механіку процесу змішування [3, 4, 6, 9], й дозволяє аналітично встановити їх залежності, представивши рух окремої частки M вихідних компонентів у координатній системі x, y, z (див. рисунок 1) такими рівняннями:

$$\begin{cases} x_M = \rho_M \cos(\varphi_M + \gamma_M); \\ y_M = \rho_M \sin(\varphi_M + \gamma_M); \\ z_M = \sqrt{\rho_M^2 - r_0^2 - r_0^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_M}, \end{cases} \quad (9)$$

де x_M, y_M, z_M – координати частки M компонентів суміші; ρ_M – миттєвий радіус-вектор положення частки M ; φ_M – кут повороту кромки лопаті; γ_M – кут, що визначає миттєве положення частки M ; r_0 – радіус положення лопаті відносно осі z ; α_M – миттєвий динамічний кут.

З урахуванням того, що кут $\gamma_M = \arccos(r_0 / \rho_M) - (\pi/2 - \theta)$, де θ – кут положення лопаті відносно осі z , система рівнянь (8) може бути записана у вигляді

$$\begin{cases} x_M = \rho_M \cos\left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)\right); \\ y_M = \rho_M \sin\left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)\right); \\ z_M = \sqrt{\rho_M^2 - r_0^2 - r_0^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_M}. \end{cases} \quad (9)$$

Окрім того поверхня зустрічі лопаті або площина, яка дотична до неї і проходить через її твірну під кутом, що дорівнює динамічному куту, може бути виражена рівнянням:

$$\begin{vmatrix} x - x_M & y - y_M & z - z_M \\ \frac{\partial x}{\partial \rho_M} & \frac{\partial y}{\partial \rho_M} & \frac{\partial z}{\partial \rho_M} \\ \frac{\partial x}{\partial \varphi_M} & \frac{\partial y}{\partial \varphi_M} & \frac{\partial z}{\partial \varphi_M} \end{vmatrix} = 0. \quad (10)$$

Виразивши значення частинних похідних, можливо одержати рівняння руху часток вихідних компонентів, що обумовлюється поверхнею зустрічі лопаті

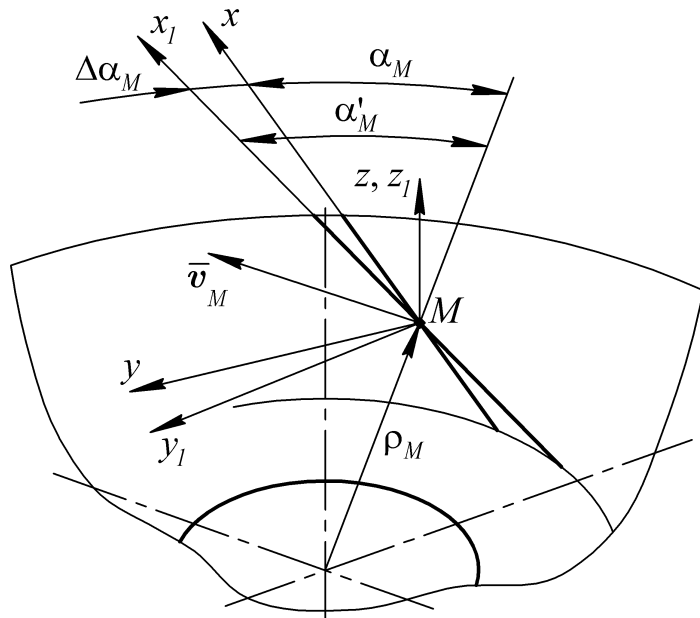


Рисунок 2 – Вплив зміни динамічного кута лопаті на швидкість частки

$$\frac{\rho_M + r_0^2 \operatorname{ctg} \alpha_M \frac{\partial \rho_M}{\sin^2 \alpha_M}}{\sqrt{\rho_M^2 - r_0^2 - r_0^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_M}} \left\{ (x - x_M) \rho_M \cos \left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \right) + \right. \quad (11)$$

$$\left. + (y - y_M) \rho_M \sin \left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \right) \right\} - \rho_M (z - z_M) = 0.$$

Під час розрахунків ρ_M виражається визначеною величиною, отже рівняння (11) приймає частинний вигляд

$$\frac{\rho_M}{\sqrt{\rho_M^2 - r_0^2 - r_0^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_M}} \left\{ (x - x_M) \rho_M \cos \left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \right) + \right. \quad (12)$$

$$\left. + (y - y_M) \rho_M \sin \left(\varphi_M + \arccos \frac{r_0}{\rho_M} - \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \right) \right\} - \rho_M (z - z_M) = 0.$$

Аналіз механіки процесу змішування [7 – 9] та частинного рівняння (12) показує, що величина динамічного кута може знаходитися в межах $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$, де $\alpha_1 \geq 30^\circ$, $\alpha_2 \leq 60^\circ$.

За обраними у вказаних межах величинами динамічного кута може бути визначена ширина лопаті змішувача

$$b = r_0 (\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2). \quad (13)$$

За умови відомої ширини лопаті та прийнятому максимальному значенні динамічного кута зустрічі α_2 кількість лопатей змішувального пристрою може бути визначена за такою формулою:

$$k = \frac{R_{\text{зовн}} - R_{\text{вн}}}{b \cos \alpha_2}. \quad (14)$$

Висновки

Шляхом аналізу механіки процесу змішування теоретично встановлені геометричні параметри робочого органу змішувача роторного типу, а також одержані рівняння для їх визначення та розрахунку потрібної кількості лопатей.

Література

1. Назаренко, І. І. *Машини і устаткування підприємств будівельних матеріалів. Конструкції та основи експлуатації* / І. І. Назаренко. – К.: Вища шк., 2004. – 590 с.
2. Сівко, В. Й. *Обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів і виробів: Підручн.* / В. Й. Сівко, В. А. Поляченко / За ред. В.Й. Сівка. – КНУБА. – К.: "ТОВ "АВЕГА", 2004. – 276 с.
3. Королев, К. М. *Методика определения параметров бетоносмесителей роторного типа* / К. М. Королев // *Строительные и дорожные машины.* – 1977. – №2. – С. 24 – 25.
4. Королев, К. М. *К расчету бетоносмесителей роторного типа* / К. М. Королев // *Строительные и дорожные машины.* – 1980. – №5. – С. 19 – 20.
5. Королев, К. М. *Эффективность приготовления бетонных смесей* / К. М. Королев // *Механизация стр-ва.* – 2003. – №6. – С. 7.
6. Бекишев, И. С. *Исследование и разработка бетоносмесителей роторного типа принудительного смешивания: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04* / И. С. Бекишев; науч. рук. Н. А. Ульянов; Воронежский инженерно-строительный институт. – Воронеж, 1973. – 19 с.

7. Маслов, А. Г. Исследование взаимодействия лопатки бетоносмесителя принудительного действия с цементобетонной смесью / А. Г. Маслов, Ю. С. Саленко // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 2 (37), ч. 1. – С. 20 – 23.

8. Ващенко, К. М. Дослідження процесів перемішування та сегрегації сипких будівельних сумішей / К. М. Ващенко // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6 (53), ч. 1. – С. 80 – 82.

9. Саленко, Ю. С. Исследование рациональных параметров бетоносмесителя с вертикальным шнеком / Ю. С. Саленко, А. Г. Маслов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1 (54), ч. 1. – С. 81 – 84.

10. Саленко, Ю. С. Разработка ротационного бетоносмесителя принудительного действия / Ю. С. Саленко // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2 (55), ч. 1. – С. 69 – 72.

11. Маслов, А. Г. Определение коэффициента сопротивления перемешиванию бетонной смеси в смесителе принудительного действия / А. Г. Маслов, Ю. С. Саленко // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 3 (68), ч. 1. – С. 96 – 101.

12. Ємельянова, І. А. Визначення кроку встановлення лопаток обертового вала / І. А. Ємельянова, В. В. Блажко, А. І. Аніщенко // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 57. – С. 416 – 420.

Надійшла до редакції 27.10.2011
© К. Н. Ващенко, Г. С. Пархитько

К. Н. Ващенко, к.т.н., доц., Г. С. Пархитько, студентка

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ РОТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ

При анализе механики процесса смешивания установлены геометрические параметры рабочих органов смесителей роторного типа и теоретически получены уравнения для их определения и расчета необходимого количества лопастей.

Ключевые слова: роторный смеситель, механика смешивания, геометрические параметры смесительного устройства.

K. M. Vaschenko, Ph.D., G. S. Parkhitko, Student

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

**THE RESEARCH OF LABOUR BODY GEOMETRIC CHARACTERISTIC EFFECT
ON WORK EFFECTIVENESS OF ROTARY MIXER**

The geometrical parameters of rotary mixers labor bodies are set at the analysis of mixing process mechanics. Equations for determination of that geometrical parameters and for calculation of necessary agitator blades amount are got in theory.

Key words: *rotary mixer, mixing process mechanics, geometrical parameters of mixer.*