

КЛИМЕНКО Микола Олександрович, асистент

Народився в 28 травня 1972 р. м. Києві.

В 1994 році закінчив КДТУБА за спеціальністю "інженер-механік".

1994-1997 – навчався в аспірантурі на кафедрі ЕРБМ КДТУБА.

З 1996 році працює на посаді наукового співробітника науково-дослідного сектору КНУБА.

З 1997 року – асистент кафедри.

Автором видано 12 наукових статей, 1 навчальний посібник

Основні напрямки наукової діяльності: дослідження робочих процесів змішувачів для перемішування будівельних розчинів та бетонів

УДК 693.542.523

ФІЗИКА ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

Для перемішування, як і для будь-якого іншого робочого процесу, надзвичайно важливим є встановлення достовірного критерію оцінки його ефективності. На сьогодні основним показником якості приготування будівельних розчинів та бетонних сумішей є міцність зразків-кубів на стискання [1]. Оцінку ефективності роботи змішувача проводять шляхом відбору від 2 до 6 зразків з 30 послідовних замісів. За результатами випробувань зразків на стискання розраховують коефіцієнт варіації міцності V_S , %. Незважаючи на те, що цей метод добре зарекомендував себе при розгляді всього технологічного циклу, проте він не дає можливості оцінювання безпосередньо роботи змішувального обладнання, оскільки на нього впливають багато інших факторів, таких як умови зберігання компонентів, точність дозування, умови транспортування, укладання, твердіння тощо.

Зважаючи на це, в багатьох дослідженнях запропоновано оцінювання якості приготування суміші за рівномірністю розподілу її компонентів. Як зазначається авторами [2, 3, 4], одночасно мають місце два процеси – перемішування, яке характеризується ступенем змішування C , та сепарація, що характеризується ступенем сепарації S . Існуючі методи кількісного опису процесу змішування ґрунтуються на статистичному аналізі. Для того, щоб оцінити якість змішування однією випадковою величиною, суміш умовно вважають двокомпонентною, тобто з неї виділяють будь-який компонент, який приймається основним, а усі останні об'єднуються у другий умовний компонент. По ступеню розподілу основного компонента в умовному оцінюють якість перемішування.

Коефіцієнт неоднорідності розподілення вихідних компонентів в об'ємі суміші править за критерій оцінки якості перемішування і в загальному випадку визначається рівнянням [2]

$$V_c = \frac{100}{c_0} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - c_0)^2}, \quad (1)$$

де c_0 – середньоквадратичне значення концентрації основного компонента в пробах;
 c_i - концентрація основного компонента в i -й пробі; n - кількість проб, що піддаються аналізу.

В роботах [3, 4] стверджується, що ступінь змішування і ступінь сепарації пов'язані співвідношенням

$$C = \frac{1}{S} \quad (2)$$

При цьому, для окремих процесів прийняті наступні закономірності

– для змішування $\left(\frac{dS}{dx}\right)' = -K_1 S;$ (3)

– для сепарації $\left(\frac{dS}{dx}\right)'' = -K_2 (S_{\max} - S),$ (4)

де K_1, K_2 – сталі, які залежать від природи і стану змішуваних матеріалів, конструкції та режиму роботи змішувача; $S_{\max}$ – максимальний ступінь сепарації, який відповідає початку процесу перемішування.

Сукупний процес утворення суміші визначається як

$$S = S_{\max} \cdot \left[\frac{K_2}{K_1 + K_2} + K_1 \cdot e^{-(K_1 + K_2)x} \right] \quad (5)$$

Як видно з останнього рівняння, процес змішування описується експоненційним законом, проте, навіть при нескінченній тривалості перемішування, суміш не стане ідеальною, оскільки ступінь сепарації асимптотично наближається до величини

$$S_{\max} \cdot \frac{K_2}{K_1 + K_2}.$$

Аналіз (1)–(5) вказує на відсутність таких впливових факторів, як конструкція робочих органів змішувача, режим його роботи, послідовності і місця завантаження компонентів, тривалості перемішування і т. ін. Крім того, вони не дають змоги оцінити ступінь активізації в'язучого.

Як бачимо, питання вибору нового узагальненого критерію оцінки якості перемішування, який би враховував міцність суміші, що затверділа, та її однорідність, залишається відкритим.

Метою даної роботи є розробка теоретичної бази для такого узагальненого критерію.

Якщо по аналогії із (2)–(5) ввести систему показників варіації міцності, то ми отримаємо інтегральний показник

$$\left(\frac{dC_V}{dt}\right)_1 = -k_1 C_V; \left(\frac{dC_V}{dt}\right)_2 = -k_2 (C_{V\max} - C_V), \quad (6)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти, які залежать від параметрів змішувача, технології та часу перемішування; C_V – коефіцієнт варіації міцності зразків-кубів; $C_{V\max} = 100\%$ – найбільше значення варіації міцності, яке відповідає початку процесу перемішування ($t=0$).

Сукупний процес утворення суміші, таким чином, може бути описаний рівнянням

$$\frac{dC_V}{dt} = -k_1 C_V + k_2 (C_{V\max} - C_V). \quad (7)$$

При $t \rightarrow \infty$ показник C_V відповідає найкращій якості суміші, що характеризується значенням $C_{V\min}$. Оскільки $C_{V\min}$ не залежить від часу, повинна виконуватись умова, при якій співвідношення $k_2(t)[k_1(t) + k_2(t)]^{-1}$ також не залежить від часу, тобто $k_0 = k_1(t)/k_2(t) = \text{const}$. Таким чином, враховуючи вихідні умови, рівняння (7) набуває

виду
$$\ln \frac{C_V - C_{V\min}}{C_{V\max} - C_{V\min}} = -\int k(t) dt \quad (8)$$

або
$$C_V = C_{V\min} + (C_{V\max} - C_{V\min}) \cdot \exp\left(-\int k(t) dt\right). \quad (9)$$



Як бачимо, питання дослідження якості перемішування переноситься в площину визначення інтеграла $\int k(t)dt$ та його зв'язку із конструктивними параметрами змішувача, а формула (9) для визначення якості суміші відбиває вплив основних конструктивних і технологічних факторів, таких як максимальний діаметр, кути встановлення лопатей, коефіцієнт завантаження тощо.

Як бачимо з (1), в більшості випадків ступінь сепарації залежить від числа проб та числа розглядуваних компонентів. Для характеристики розподілу одного компонента в [5] пропонується формула

$$S = \sum_{i=1}^k \frac{|n_i - n_0|}{k \cdot n_0}, \quad (10)$$

де n_i – концентрація часток компонента в i -й пробі; n_0 – середня концентрація часток компонента в суміші; k – кількість проб.

Вважається, що в кожній точці об'єму концентрація різна і залежить від просторової координати X . Якщо в точці X_1 концентрація часток n_1 , то в точці X_2 вона $n_1 \pm \Delta n$. Вводиться поняття градієнта концентрації – відношення $\Delta n / \Delta X$, яке характеризує швидкість зміни концентрації. Виникає потік суміші від місць із більшою концентрацією до місць з меншою. Потік буде тим більшим, чим більший градієнт концентрації.

При дії в напрямку X постійної сили P потік суміші, що проходить через площадку ΔF в напрямку додатних координат за час dt

$$\Delta N_+ = \frac{1}{6} n_2 \cdot \bar{c} \cdot \Delta F \cdot dt + n_2 \cdot c_p \cdot \Delta F \cdot dt, \quad (11)$$

а в напрямку від'ємних координат

$$\Delta N_- = \frac{1}{6} n_1 \cdot \bar{c} \cdot \Delta F \cdot dt + n_1 \cdot c_p \cdot \Delta F \cdot dt, \quad (12)$$

де $\bar{c}$ – середня швидкість хаотичного руху часток суміші; c_p – середня швидкість часток під дією зовнішніх сил (відцентрова, тяжіння, т. ін.).

Тоді сумарний потік часток, що проходять через елементарну площадку за одиницю часу

$$\Delta N = \Delta N_+ - \Delta N_- = \frac{1}{6} \Delta F \cdot dt \left[(n_1 - n_2) \cdot \bar{c} - 12 \frac{n_1 + n_2}{2} \cdot c_p \right], \quad (13)$$

а ступінь сепарації визначається залежністю

$$S = 6 \frac{c_p}{\bar{c}} + \left(S_{\max} - 6 \frac{c_p}{\bar{c}} \right) \cdot e^{-\frac{\Delta F \bar{c} t}{3}}. \quad (14)$$

Припускаючи, що весь об'єм змішувача V розділений на n малих рівних об'ємів v таким чином, що $V = n \cdot v$, визначимо вірогідність знаходження частинки даного компоненту в об'ємі $\frac{v}{V} = \frac{1}{n}$

Вірогідність, що в даному об'ємі знаходиться визначене число частинок даного компонента, може бути знайдена за законом множення вірогідностей

$$W = (2TN)^{-(n-1)/2} n^{n/2} \exp \left[- \left(\sum_{i=1}^n \left(a_i + \frac{1}{2} \right) \cdot \ln \frac{n \cdot a_i}{N} \right) \right] \quad (16)$$

де N – загальне число частинок даного компонента в змішувачі; T – час перемішування; a_i – характер розподілу часток даного компонента по елементарних об'ємах v_i .

Приймаючи, що кількість часток даного компонента в елементарному об'ємі v_i відрізняється від середнього значення N/n на величину δ_i , отримують $a_i = N/n + \delta_i$, а рівняння (16) набуває виду

$$W = (2TN)^{-(n-1)/2} n^{n/2} \exp \left[- \left(\sum_{i=1}^n \delta_i + \frac{1}{2} \frac{n}{N} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 - \frac{1}{6} \left(\frac{n}{N} \right)^2 \sum_{i=1}^n \delta_i^3 + \dots \right) \right] \quad (17)$$

При $\delta_i = 0$ $a_i = N/n$, показник експоненційної функції отримує свого мінімального значення, рівного 0, а вірогідність W досягає максимуму. При δ_i порядку N/n , усі члени (17), крім першого, будуть великими, отже показник експоненційної функції буде великим від'ємним числом, а вірогідність W стає мінімальною.

Таким чином, розглядаючи характер розподілення складових суміші в змішувачі на основі використання методів математичної статистики та теорії ймовірності, можна стверджувати, що при правильній технології приготування бетонної суміші вихідне розташування компонентів може вплинути тільки на тривалість процесу перемішування. Рівняння (9), (14), (17) дають змогу урахування більшості конструктивних і технологічних характеристик змішувального обладнання, хоча і потребують виконання значної кількості експериментальних досліджень в кожному конкретному випадку.

Список літератури:

1. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов. – 22с.
2. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. Бунин М.В., Глушко И.М., Ильин А.Г. Структура и механические свойства дорожных цементных бетонов. – Харьков: ХГУ, 1968. – 199 с.
4. Бунин М.В. О закономерностях процессов смесеобразования// Автоматизация и усовершенствование процессов приготовления, укладки и уплотнения бетонных смесей. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 72-79.
5. Сапелин Н.А. Исследование скоростных параметров работы роторных смесителей. Дис. канд. техн. наук. – Харьков: ХИСИ, 1980.

Основні праці:

1. Клименко М.О., Назаренко І.І. Моделювання руху суміші в барабані гравітаційних бетонозмішувачів// Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - 2001. -Вип.57. - С.89-92.
2. Клименко М.О., Назаренко І.І. Дослідження руху суміші в барабані гравітаційних бетонозмішувачів// Науково–практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій: Збірник наукових статей, Вип. 5 – К.: МНС України, КНУБА, 2001. - С.29-33.
3. Клименко М.О., Назаренко І.І. До вибору типу бетонозмішувачів та призначення їх об'ємів// Техніка будівництва. -2001. -№9. - С.59-64.
4. Клименко М.О. Дослідження характеру розподілу сипких матеріалів та будівельних сумішей в поперечному перерізі барабана гравітаційного бетонозмішувача// Техніка будівництва. -2001. -№10. - С.24-27.
5. Клименко М.О., Назаренко І.І. До визначення характеру руху будівельних сумішей в барабані гравітаційних бетонозмішувачів// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 3(14). - С.77-79.
6. Назаренко І.І., Клименко М.О. Теоретичне та експериментальне дослідження руху матеріалу в гладкому обертовому барабані// Техніка будівництва. -2002. -№12. - С.35-42.