

УДК 666.97.031

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ ГРАВИТАЦИОННО-ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

**И.А. Емельянова, проф., д.т.н., А.И. Анищенко, ассист., к.т.н.,
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры**

Аннотация. Рассмотрен процесс перемешивания компонентов смеси с учетом диффузии завихренности. Выявлены условия, которые способствуют интенсификации процесса приготовления бетонных смесей высокой однородности за счет создания должного количества замкнутых вихрей движения частиц бетонной смеси.

Ключевые слова: бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия, корпус, горизонтальный вал, лопатки.

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТИ БЕТОНОЗМІШУВАЧА ГРАВІТАЦІЙНО- ПРИМУСОВОЇ ДІЇ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ОДНОРІДНИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

**І.А. Ємельянова, проф., д.т.н., А.І. Аніщенко, асист. к.т.н.,
Харківський національний університет будівництва та архітектури**

Анотація. Розглянуто процес перемішування компонентів суміші з урахуванням дифузії завихреності. Виявлено умови, які сприяють інтенсифікації процесу приготування бетонних сумішей високої однорідності за рахунок створення належної кількості замкнутих вихорів руху частинок бетонної суміші.

Ключові слова: бетонозмішувач гравітаційно-примусової дії, корпус, горизонтальний вал, лопатки.

DEFINING OPERATIONAL CONDITIONS OF CONCRETE MIXER WITH GRAVITATIONAL CONSTRAINED ACTION FOR PREPARING HOMOGENEOUS CONCRETE MIXTURES

**I. Emelyanova, Prof., Doc. of Tech. Sc., A. Anischenko, Assist.,
Cand. of Eng. Sc., Kharkiv National University of Construction and Architecture**

Abstract. The process of mixing blend components using the vorticity diffusion has been studied. The conditions enabled the intensification of preparing concrete mixtures with high homogeneity by creating the proper amount of closed vortex motion of concrete mixture particles have been defined.

Key words: concrete mixer with gravitational constrained action, body, horizontal shaft, blades.

Введение

Одним из основных показателей, характеризующих работу бетоносмесителя, является степень однородности приготавливаемых смесей, которая в дальнейшем определяет физико-механические свойства бетонных и железобетонных изделий. Известны резуль-

таты исследований степени однородности, полученные экспериментальным путем. В данной статье показан путь, обеспечивающий условия для получения однородных смесей за счет создания должного количества замкнутых вихрей движения частиц бетонной смеси в корпусе бетоносмесителя при $\kappa_{30} = 0,7-0,8$.

Анализ публикаций

Существующие бетоносмесители циклического действия, как роторные, так и с горизонтальными лопастными валами, зачастую не обеспечивают высокую степень однородности приготавливаемых бетонных смесей. С такой задачей успешно справляются бетоносмесители нового поколения, работающие в каскадном режиме, к которым относится бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия.

Цель и постановка задачи

Целью работы является приготовление строительных (бетонных смесей) с высокой степенью однородности, а также определить условия поведения частиц бетонной смеси в рабочем пространстве бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия для создания замкнутых вихрей движения ее компонентов; при этом найти параметры, которые при достижении поставленной цели являются определяющими для процесса приготовления однородных бетонных смесей.

Аналитическое описание процесса

В силу своих конструктивных особенностей [1] бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия обеспечивает процесс перемешивания компонентов во всем полезном объеме машины ($\kappa_{30} = 0,7-0,8$).

Это достигается за счет каскадного режима работы смесителя, а как показывают результаты проведенных многочисленных исследований, неоднородность приготавливаемых смесей различного назначения в рассматриваемом бетоносмесителе не превышает 5–6 % [1, 2].

По сравнению с известными и действующими бетоносмесителями, в новом смесителе гравитационно-принудительного действия частицы бетонной смеси претерпевают сложные траектории движения [3]: вращается корпус машины, вращается горизонтальный лопастный вал. Это приводит к тому, что частицы бетонной смеси при каскадном режиме работы бетоносмесителя составляют замкнутые вихри.

Процесс диффузии (перемешивания) составляющих сил приводит, в конечном счете, к созданию однородной среды. Наблюдаемая

при этом диффузия завихренности может быть описана уравнением дисперсии в вязкой несжимаемой жидкости, моделью которой является бетонная смесь. Уравнение имеет вид

$$\frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial t} + (\bar{V} \overline{\text{grad}} \bar{\Omega}) = (\bar{\Omega} \cdot \overline{\text{grad}}) \cdot \bar{V} + \nu \cdot \nabla^2 \bar{\Omega}, \quad (1)$$

где \bar{V} – вектор скорости движения бетонной смеси; ν – кинематическая вязкость бетонной смеси, м²/с;

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}; \frac{\partial^2}{\partial y^2}; \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \text{оператор Лапласа};$$

$$\bar{\Omega} \equiv \frac{1}{2} \text{rot} \bar{V} = \bar{\omega} - \text{вектор угловой скорости}$$

вращения бетонной смеси ($\bar{\omega} = \frac{1}{2} \text{rot} \bar{V}$) –

вихрь вектора скорости \bar{V}) [4]; $\overline{\text{grad}}$ – градиент вектора (оператор вида

$$\overline{\text{grad}} = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right);$$

$$(\bar{V} \overline{\text{grad}} \bar{\Omega}) = V_x \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial y} + V_z \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial z};$$

$$(\bar{\Omega} \cdot \overline{\text{grad}}) \cdot \bar{V} = \Omega_x \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \Omega_y \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \Omega_z \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial z}$$

Следовательно, в развернутом виде уравнение (1) можно представить как

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial y} + V_z \cdot \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial z} = \\ & = \Omega_x \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \Omega_y \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \Omega_z \cdot \frac{\partial \bar{V}}{\partial z} + \\ & + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{\Omega}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Omega}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Omega}}{\partial z^2} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

В случае плоского потока бетонной смеси в бетоносмесителе гравитационно-принудительного действия вектор $\bar{\Omega}$ рассматривается перпендикулярным к плоскости течения смеси, а величина $(\bar{\Omega} \cdot \overline{\text{grad}}) \cdot \bar{V}$ в уравнениях (1) и (2) при этом будет равна нулю. Тогда уравнения (1) и (2) принимают вид

$$\frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial t} + (\bar{V} \overline{\text{grad}}) \cdot \bar{\Omega} = \nu \cdot \nabla^2 \cdot \bar{\Omega} \quad (3)$$

или

$$\frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial t} + (\bar{V} \overline{\text{grad}} \bar{\Omega}) = v \cdot \nabla^2 \cdot \bar{\Omega}. \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение диффузии, отражающее распределение, допустим, крупного заполнителя по всему рабочему объему смесителя, можно представить как

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\bar{V} \overline{\text{grad}} C) = D \cdot \nabla^2 C, \quad (5)$$

где D – коэффициент диффузии, м²/с; C – концентрация крупного заполнителя в приготавливаемой бетонной смеси по всему объему перемешивания компонентов.

С другой стороны, следует рассмотреть уравнение Навье–Стокса для несжимаемой жидкости (бетонной смеси) и уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + (\bar{V} \cdot \bar{\nabla}) \cdot \bar{V} = -\frac{1}{\rho_0} \overline{\text{grad}} p + v \cdot \nabla^2 \bar{V}, \quad (6)$$

где ρ_0 – средняя плотность бетонной смеси, кг/м³; p – давление, которое испытывает бетонная смесь в процессе перемешивания в работающем смесителе.

При условии, что $\rho = \text{const}$, $\overline{\text{grad}} p = 0$, уравнение (6) приобретает вид

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + (\bar{V} \cdot \overline{\text{grad}} \bar{V}) = v \cdot \nabla^2 \bar{V}. \quad (7)$$

Проанализировав уравнения (4), (5), (7), можно констатировать, что эти уравнения идентичны. Кроме того, отражают спектр параметров, которые как раз и являются определяющими процесс перемешивания составляющих компонентов смеси.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \Omega_i}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial \Omega_i}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial \Omega_i}{\partial y} + V_z \cdot \frac{\partial \Omega_i}{\partial z} &= \\ &= v \cdot \nabla^2 \Omega_i; \\ \frac{\partial V_i}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial V_i}{\partial y} + V_z \cdot \frac{\partial V_i}{\partial z} &= \\ &= v \cdot \nabla^2 V_i; \\ \frac{\partial C}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} &= \\ &= D \cdot \nabla^2 C. \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Если брать только отдельные компоненты вектора $\bar{V} = (V_x, V_y, V_z)$, вектора $\bar{\Omega} = (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$ и C , то видно, что уравнения системы (8) подобны. Уравнения системы (8) подобны с точностью до коэффициента k . Следовательно, и получаемые результаты тоже должны быть идентичны.

$$v = k_1 D; \quad V_i = k_2 \Omega_i; \quad V_i = k_3 C. \quad (9)$$

Таким образом, конечные результаты свидетельствуют, во-первых, о прямой относительной пропорциональности параметров процесса; во-вторых, об их тесной взаимосвязи.

Такая связь отдельных параметров процесса перемешивания и должна обеспечивать однородность приготавливаемой бетонной смеси как в продольном, так и в поперечном направлениях рабочего пространства смесителя.

В отличие от известных бетоносмесителей, в работающем смесителе гравитационно-принудительного действия наблюдается наличие замкнутых вихрей движения частиц бетонной смеси. Конечные результаты (9) свидетельствуют о том, что увеличивать количество таких вихрей возможно за счет увеличения скоростей их движения в смесителе, которое определяют скорости вращения корпуса машины и ее горизонтального лопастного вала.

Конструктивные особенности бетоносмесителя с гравитационно-принудительным принципом перемешивания как раз позволяют существенно интенсифицировать процесс перемешивания за счет возможности создать увеличенное количество замкнутых вихрей движения компонентов смеси по сравнению с известными смесителями принудительного действия. При каскадном режиме работы смесителя, следовательно, ускоряется процесс диффузии (перемешивания). Значит, для приготовления бетонной смеси высокой однородности при стационарном значении концентрации крупного заполнителя C в любом сечении рабочего пространства нового смесителя по всей его длине созданы идентичные условия для перемешивания компонентов смеси.

Выводы

Процесс перемешивания составляющих бетонной смеси в бетоносмесителе гравитационно-принудительного действия рассмотрен с учетом диффузии завихренности.

Подвергнуты анализу условия работы бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия, которые позволяют приготовить однородные бетонные смеси.

Найден ряд параметров, которые являются определяющими процесса приготовления однородных бетонных смесей исходя из наличия замкнутых вихрей движения компонентов смеси.

Литература

1. Пат. №101953 С2, Украина, МПК (2013.01) В28С 5/20. Спосіб приготування будівельних сумішей / Ємельянова І.А., Блажко В.В., Аніщенко А.І.;
2. Пат. №101773 С2, Україна, МПК (2013.01) В28С 5/20. Змішувач для приготування будівельної суміші / Ємельянова І.А., Блажко В.В., Аніщенко А.І.; заявник та патентовласник Харківський національний університет будівництва і архітектури. – № а2009 13497; Заявл. 24.12.09; Опубл. 27.05.13, Бюл. № 10.
3. Ємельянова І.А. Бетоносмесители, работающие в каскадном режиме: монографія / І.А. Ємельянова, А.І. Аніщенко, С.М. Евель и др. – Х.: Тим Пабліш Груп, 2012. – 146 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 7 июля 2014 г.
