

*И.А. Емельянова, д.т.н., проф., Блажко В.В., инж., Доброходова О.В., аспирант  
Харьковский государственный технический университет строительства и  
архитектуры*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТРЕХВАЛЬНОГО БЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ВЫСОКОЙ ОДНОРОДНОСТИ**

*Представлені залежності для визначення ступеня однорідності приготовленої бетонної суміші, основних факторів, впливаючих на процес перемішування. Подані передумови, що визначають якість сумішоутворення, яка залежить від геометричних параметрів бетонозмішувача й режимів робочого процесу. Показано шлях визначення основних показників роботи тривального бетонозмішувача на підставі аналізу системи критеріїв подібності узагальненого процесу взаємодії робочого органу з бетонною сумішшю.*

*Ключові слова: тривальний бетонозмішувач, будівельна суміш, критерії подібності.*

*Представлены зависимости для определения степени однородности приготовленной бетонной смеси, основных факторов, влияющих на процесс перемешивания. Представлены предпосылки, определяющие качество смесеобразования, которое зависит от геометрических параметров бетоносмесителя и режимов его рабочего процесса. Показан путь определения основных показателей работы трехвального бетоносмесителя на основании анализа системы критериев подобия обобщенного процесса взаимодействия рабочего органа с бетонной смесью.*

*Ключевые слова: трехвальный бетоносмеситель, строительная смесь, критерии подобия.*

*Dependence of the key factors influential for mixing process to determine degree of uniformity of the mixed chuted concrete is presented. Preconditions defining the mixture formation quality which depends on geometrical parametres of a concrete mixer and its operational conditions is presented. Method of determination of the three-shaft concrete mixer efficiency main coefficients based on the system analysis of the similitude parameters of the generalised interaction process of working body with chuted concrete is shown.*

*Key words: three-shaft concrete mixer, building mix, similitude parameters.*

**Постановка проблеми** производства строительных смесей стоит очень остро. Современное производство строительных смесей в нашей

стране является одним из наиболее интенсивно развитых направлений строительной индустрии [2]. Для изготовления качественных строительных смесей требуется эффективное оборудование. Особого внимания заслуживают универсальные машины, к которым следует отнести новый трехвальный бетоносмеситель, позволяющий готовить смеси разной подвижности (рис. 1) [1].

Предметом исследований является изучение возможностей трехвального бетоносмесителя для приготовления строительных смесей разного назначения с точки зрения его эффективного использования.

Объектом исследований являются процессы приготовления смесей и обоснования их характеристик, исходя из позиции однородности и высокой степени усреднения [4, 6].

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодня процессы смешивания сыпучих материалов выделяются в отрасль, которая базируется на изучении механических процессов, цель которых – обеспечение максимальной степени смещения отдельных компонентов в конечной смеси. Главным критерием эффективности смесительного устройства, кроме этого, есть расход энергии, что требуется для получения смеси с необходимым уровнем однородности. При этом наиболее эффективным будет тот смеситель, в каком оптимально объединены максимальная интенсивность воздействия рабочего органа на обрабатываемую смесь, минимальный уровень энергопотребления и необходимое качество готового продукта [7, 8].

Рядом с этим, оптимальный уровень смесеобразования и гомогенизация сыпучего материала могут быть достигнуты путём применения смесителей-интенсификаторов, которые являются смесителями высокого уровня энергетического воздействия на обрабатываемый материал [7].

**Целью статьи** является определение путей перехода к реальному трехвальному бетоносмесителю более высокой производительности в сравнении с лабораторной машиной и с учетом специфики процесса приготовления бетонных смесей.

**Основные результаты.** Процессу перемешивания частиц строительных смесей противодействуют силы инерции, силы внутреннего трения (трения частиц друг относительно друга) и силы внешнего трения (трение частиц о корпус и лопасти смесителя). Кроме того, при смешивании преодолеваются силы тяжести, стремящиеся опустить зерна мелкого и крупного заполнителя вниз, что способствует расслоению смеси.

Важнейшей количественной характеристикой процесса смесеобразования является его скорость, под которой понимается количество частиц  $A$  какого-либо компонента, поступающего в смеситель за единицу времени. При постоянном объеме смешиваемых компонентов скорость процесса характеризуется скоростью изменения концентрации

компонента А в несущей среде В за единицу времени при заранее определенном математическом ожидании. В таком случае степень однородности можно представить как:

$$C_1 = 1 - \left[ e^{-kF(1-e)^{-ta}} \right]^{V/V_0}, \quad (1)$$

или

$$C = \frac{1}{h} \int_0^h \left( \frac{W - W_1}{W_1} \right) dz, \quad (2)$$

где  $F$  – максимально возможная поверхность раздела твердых фаз;

$V$  – число единиц объема, содержащих один из смешиваемых компонентов;

$V_0$  – объем пробы;

$k$  – коэффициент вероятности;

$C_1$  – степень однородности материала;

$t$  – время смешивания;

$a$  – коэффициент пропорциональности;

$z$  – текущая координата отбора пробы;

$W_1$  – оптимальная концентрация компонентов смеси;

$W$  – текущая концентрация;

$h$  – толщина сечения слоя смеси.

Решение задачи качества заполнителя и наполнителя строительных смесей на современном уровне материаловедения должно базироваться на определении роли степени однородности относительно трёх основных факторов [5, 7, 8]:

$$C = f(b, \phi, w), \quad (3)$$

где  $b$  – гранулометрический состав;

$\phi$  – форма зерен;

$w$  – оценка шероховатости их поверхности.

Такой подход позволяет избежать ошибок, обусловленных попытками оптимизации состава смесей на основе только одной из названных характеристик.

Оценка однородности смеси также определяется физико-механическими свойствами крупного заполнителя. Размер элемента смешиваемых материалов в общем объеме смеси ставится в прямую зависимость от размера зерна наиболее крупного компонента (щебня) [3].

Специфика приготовления бетонов в строительстве заключается в непрерывном перераспределении компонентов  $A_{\Sigma}$  и  $B_{\Sigma}$  между собой и несущей фазой, состоящей из воды, цемента и добавок.

В ходе смешивания имеют место макро- и микродеформирование локальных объемов под воздействием рабочих органов смесителя. При непрерывном воздействии со стороны смесительного органа обобщенной силой происходит перераспределение и деформирование элементарных

объемов среды массой  $M_k = \int \rho_k(r;t)dV$  со скоростью  $V_n = V_n(r;t)$ ;  $(r;t)$  – полевые координаты.

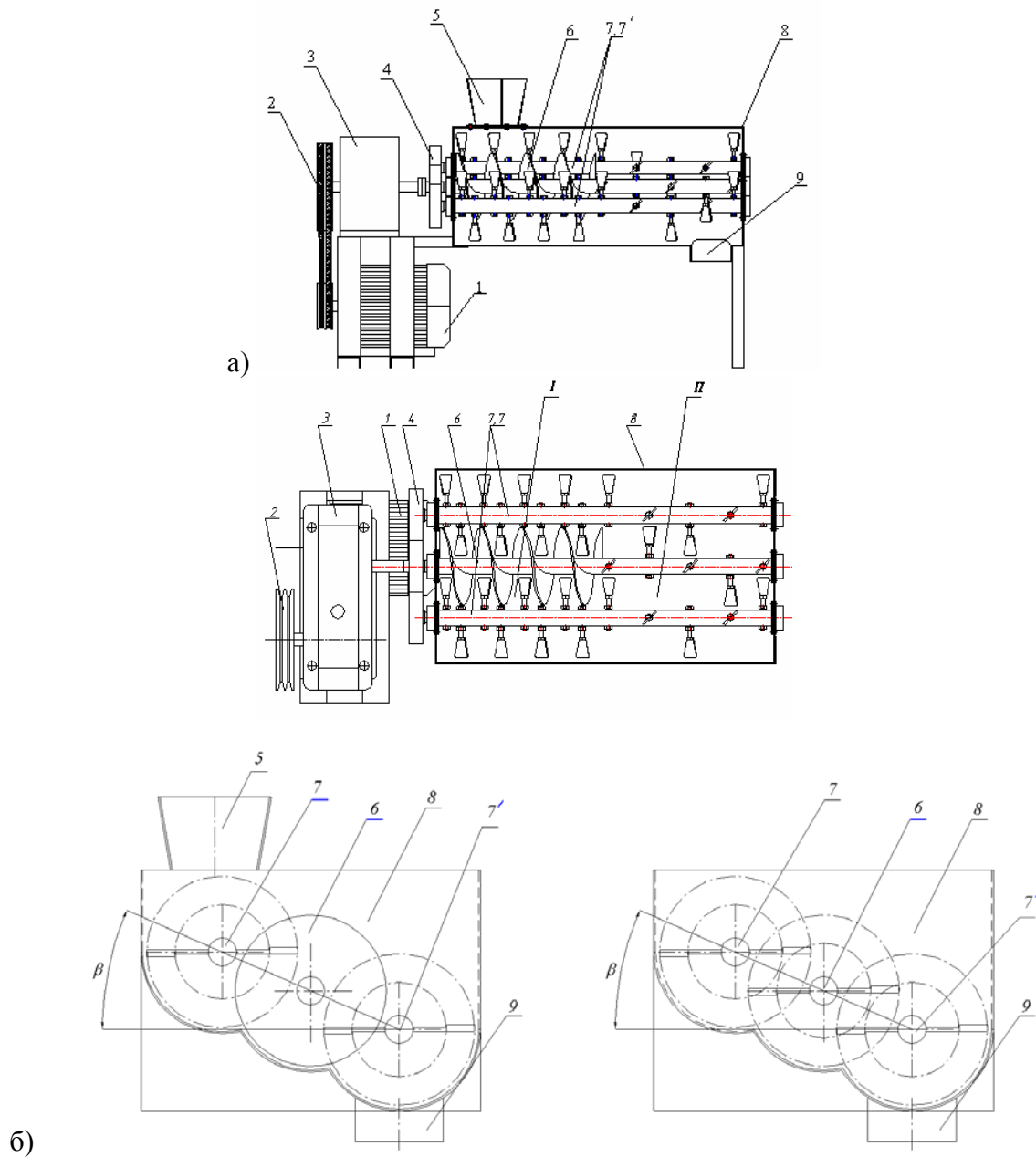


Рисунок 1 – Конструктивная схема трехвального бетоносмесителя:  
 а) трехвальный бетоносмеситель; б) размещение валов в корпусе смесителя:  
 1 – двигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – открытая зубчатая передача; 5 – загрузочный бункер; 6 – шнековый вал; 7, 7' – верхний и нижний лопастные валы; 8 – корпус бетоносмесителя; 9 – разгрузочный патрубок;  
 I – зона перемешивания сухих компонентов бетонной смеси; II – зона приготовления бетонной смеси с заданным водоцементным отношением

В результате этого в смеси наблюдаются диффузионные макроскопические проявления, скорость  $v_n$  и плотность потока которых  $J_k$  взаимосвязываются уравнением:

$$\sum_{k=1}^m J_k = \sum_{k=1}^m \rho_k v_n. \quad (4)$$

Диффузионные потоки способствуют изменению концентрации неоднородностей полевой величины  $A$  массой  $M = \sum_{k=1}^k M_k$

Изменение состояния среды запишется как:

$$\frac{dA}{dt} = \left( \frac{\partial A}{\partial t} \right)_r + v_k \nabla A, \quad (5)$$

где  $\frac{dA}{dt}$  – субстациональный дифференциальный оператор  $k$ -го элемента (компонента) среды;

$v_k \nabla A$  – мера изменения полевой величины  $A$  вызванная переносом  $k$ -го элемента со скоростью  $v_k$ .

Кинетической кривой данного уравнения является экспонента, которая для сухих и химически инертных компонентов может быть интерпретирована зависимостями:

$$\frac{1}{\rho_{cp} V} \sum_{k=1}^m \sum_{V=1}^n (\rho_k - \rho_{k,cp}) \Delta V_c = \left( \frac{\partial A}{\partial t} \right)_r + v_n \Delta \Phi; \quad (6)$$

$$a + (S_{\max} - a) e^{kt_n} = \left( \frac{\partial A}{\partial t} \right)_r + v_n \Delta A = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (7)$$

где  $V$  – общий объем смеси;

$\rho_k$  – плотность  $k$ -го компонента смеси в объеме  $\Delta V_c$ ;

$\rho_{k,cp}$  – средняя плотность  $k$ -го компонента в объеме;

$\rho_{cp}$  – средняя объемная плотность;

$v_n \Delta A$  – мера изменения концентрации величины  $A$ , вызванная переносом  $k$ -го компонента со скоростью  $v_n$ ;

$a, k$  – постоянные, характеризующие процесс перемешивания в зависимости от природы и состояния смешиваемых компонентов, а также конструкции и режима работы смесителя;

$S_{\max}$  – максимальная степень сепарации, отвечающая началу процесса;

$t_n$  – время перемешивания;

$n$  – число испытаний;

$R_i$  – прочность  $i$ -го образца из приготовленного бетона.

Анализ уравнения (7) показывает, что оно взаимосвязывает три основных параметра процесса перемешивания – скорость движения рабочего органа смесителя ( $v_n$ ), время перемешивания ( $t_n$ ) и качество

смесеобразования  $S_{\max}$ , характеризуемое концентрацией (степенью сепарации) получаемой продукции. Вполне очевидно, что для реальных процессов это уравнение можно использовать для определения режимов работы смесительных аппаратов, обеспечивающих наилучшее качество перемешивания материалов. Сочетание имеющихся экспериментальных данных по скоростным режимам смесителей и количественным показателям процесса ( $a, k, t_n$ ) позволяет получать альтернативные решения, описывающие динамику процесса смесеобразования при получении сухих смесей.

Совместное рассмотрение уравнений (2 и 7) позволяет осуществить полный анализ процесса смешивания материалов и установить условия его оптимизации как по качеству и энергоемкости, так и по степени диспергирования (растворения) вяжущих

$$\begin{cases} a + (S_{\max} - a)e^{-kt_n} = \frac{\partial A}{\partial t} + v_n \Delta A = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \\ G v_n t_n (1 - f) = -0,239 V \rho_{cp} \Delta TC - \sum_{i=1}^z P_i + \frac{K_p}{S_B t_p} \end{cases} \quad (8)$$

Рекомендуемая система уравнений показывает, что качество смесеобразования  $S_{\max}$  и  $R_i$  зависит от геометрических параметров бетоносмесителя  $V$  и скорости движения рабочего органа  $v_n$ , длительности процессов перемешивания, количества  $m$  и тонины помола вяжущего  $S_B$ , а также его способностей к растворению  $K_p$  и  $t_p$ .

Для подтверждения вышеуказанных теоретических зависимостей и перехода от лабораторного бетоносмесителя к действующей машине, предлагается использовать систему критериев подобия аппаратов для смешивания и диспергирования строительных материалов [3]:

$$K_{\Pi_1} = \frac{P}{\rho \cdot v^2}; \quad K_{\Pi_2} = \frac{g \cdot l}{v^2}; \quad K_{\Pi_3} = \frac{P_i}{l^2 \cdot E}; \quad K_{\Pi_4} = \text{Re} = \frac{\rho \cdot n}{P}; \quad (9)$$

где:  $P$  – обобщенное удельное давление со стороны рабочего органа;

$\rho$  – средняя плотность бетонной смеси;

$v$  – скорость движения среды (бетонной смеси);

$g$  – ускорение свободного падения частицы;

$l$  – поперечное сечение нагружаемого микрообъема;

$P_i$  – обобщенное сопротивление среды;

$E$  – модуль упругости рабочей среды;

$\sigma_a$  – поверхностная активность вещества.

Указанные критерии, установленные на основе общих закономерностей, характерных для процессов взаимодействия лопаток смесителя с бетонной смесью, в которой они находятся, позволили

получить коэффициенты масштабного перехода от лабораторного бетоносмесителя к реальной машине.

Для решения системы уравнений и получения коэффициентов перехода, использовались конструктивные размеры ( $r$  – радиус вращения лопастей,  $d$  – ширина и  $b$  – высота лопастей) и рабочие параметры ( $\omega$  – угловая скорость рабочего органа,  $W$  – полная энергия на перемешивание компонентов), базовой модели, а также основные физико-технические характеристики малоподвижных бетонных смесей.

$$K_{\Pi_1} = \frac{P}{\rho \cdot v^2} = 2,18; \quad (10)$$

$$P = dF \cdot z_n; \quad dF = c \cdot \rho \cdot d \cdot b \cdot r \cdot \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2};$$

$$K_{\Pi_2} = \frac{g \cdot l}{v^2} = 32; \quad (11)$$

$$K_{\Pi_3} = \frac{P}{l^2 \cdot E} = 10,56; \quad (12)$$

$$P = c \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{\omega^2}{2} \int_{r_{вн}}^{r_n} r^2 dr = c \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{\omega^2}{2} \left( \frac{r_n^3 - r_{вн}^3}{3} \right);$$

$$K_{\Pi_4} = Re = \frac{\omega \cdot r \cdot i \cdot \rho}{\mu} = 46,1. \quad (13)$$

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** В статье показаны пути перехода к реальному трехвальному бетоносмесителю более высокой производительности в сравнении с лабораторной машиной и с учетом специфики процесса приготовления бетонных смесей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 74444 Україна, МПК В28С5/14. Смеситель для приготовления строительной смеси / И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, В.В. Блажко, В.В. Тугай. – Опубл 15.12.05.
2. Емельянова И.А. Предпосылки использования трехвального бетоносмесителя для приготовления строительных смесей различного назначения / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, В.В. Блажко // Вестник ХДТУБА. Вып.4. – X., 2008. – С. 195–200.
3. Емельянова И.А. Определение основных показателей трехвального смесителя / И.А. Емельянова, В.В. Блажко // Вестник ХНАДУ. Вып.38. – X., 2007. – С. 197–200.
4. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА, 1999. – 485 с.

5. Зозуля П.В. Оценка формы частиц мелкого заполнителя для строительных растворных смесей / П.В. Зозуля // Вестник, ХНАДУ. Вып.28. – Х., 2007. – С. 94–98.
6. Веригин Ю.А. Синергетические основы процессов и технологий / Ю.А. Веригин, С.В. Толстенов. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 160 с.
7. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк; пер. с польск. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
8. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск; пер. с чешск. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 417 с.
9. Stark U. Neue Methoden zur Messung der Korngroße und Kornform von Mikro bis Marko / U. Stark , M. Reinold , A. Muller. // 15 Internationale Baustofftagung IBAUSIL, Weimar, 24–27 sept, 2003 j. – S. 1-1369-1-1380.
10. Reschke Th. Einflub der Granulometrie der Feinstoffe auf die Festigkeits – und Gefugeentwicklung Von Mortel und Beton / Th. Reschke, G. Thielen // 14 Internationale Baustofftagung IBAUSIL, Weimar, 20–23 sept, 2000 j. – S. 1-0289-1-0299.