

К вопросу определения времени перемешивания в роторно-вибрационном смесителе с оболочечным виброактиватором

И.М. Ефремов^a, А.П. Соколов^b, Д.В. Лобанов^c, И.Б. Багаудинов^d

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

^asdm@brstu.ru, ^bsokol_sdm_06@mail.ru, ^cd_lobanov@mail.ru, ^dBagaudinvi@rambler.ru

Статья поступила 9.03.2014, принята 6.05.2014

Долгосрочные исследования ряда моделей смесителей со встроенными виброактиваторами оболочечного типа, проводимые в Братском госуниверситете, доказали эффективность их использования (уменьшение времени перемешивания, энергоемкости процесса перемешивания, увеличение прочности бетона на начальном этапе твердения). Ключевым параметром, определяющим эффективность вибрационного смесителя, является производительность. Наибольшее влияние на производительность оказывает время перемешивания (для конкретного смесителя). На настоящем этапе исследований важной задачей является определение рационального времени перемешивания. На основе имеющихся экспериментальных данных о времени перемешивания на моделях можно, используя основные положения комбинированной теории процесса смешивания, разработанной В.А. Кузьмичевым, определить время перемешивания для типовых геометрически подобных смесителей. Из всего многообразия возможных изучаемых физических параметров процесса перемешивания, таких, как скорость перемешивания частиц, их направления, наиболее общим и определяющим является концентрация компонента смеси W . Решая уравнение изменения концентрации по времени, можно вывести формулу времени перемешивания. Используя теорию подобия и анализа размерностей, возможно применять данную методику определения времени перемешивания для типовых конструкций смесителей. Предлагаемая методика предварительного расчета времени смешивания, удовлетворяющая качеству получаемого замеса для проектируемых смесителей, позволяет уже на этапе проектирования оценить эффективность предлагаемых конструкций по важнейшему показателю работы – производительности.

Ключевые слова: производительность, время перемешивания, виброактиватор, концентрация, амплитуда, частота.

Towards determining the mixing time in a rotary vibratory mixer with the shell-typed vibration activator

I.M. Efremov^a, A.P. Sokolov^b, D.V. Lobanov^c, I.B. Bagaudinov^d

Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^asdm@brstu.ru, ^bsokol_sdm_06@mail.ru, ^cd_lobanov@mail.ru, ^dBagaudinvi@rambler.ru

Received 9.03.2014, accepted 6.05.2014

Long-term studies of a number of models of mixers with integrated vibration activators of a shell type held in Bratsk State University proved the efficiency of the use of such activators (reduction of mixing time, energy intensity of the mixing process, increase of the concrete strength at the initial stage of hardening). The key parameter determining the efficiency of vibratory mixer is its performance. The mixing time (for every single mixer) has the greatest influence on the performance. At the present stage of research, an important task is to define rational mixing time. On the basis of available experimental data of mixing time and using the main provisions of the combined theory of mixing process, developed by V.A. Kuzmichev, it is possible to determine the mixing time for typical geometrically similar mixers. From the variety of possible physical parameters of the mixing process, such as the rate of stirring the particles and their direction, the most general and the most important is the concentration of the component of W mixture. By solving the equation of concentration changes by time, it is possible to derive the formula of the mixing time. Using the theory of similarity and dimensional analysis, it is possible to apply this method to determine the mixing time for typical constructions of mixers. The proposed method of preliminary calculation of the mixing time, matching the quality of the batch for the mixers constructed, allows to assess the effectiveness of proposed constructions on the most important work indicator such as performance on the construction stage.

Keywords: performance, mixing time, vibration activator, concentration, amplitude, frequency.

Введение. Важнейшими задачами современной строительной индустрии Российской Федерации являются разработка, освоение и ускоренный выпуск наиболее прогрессивных машин и оборудования с более высокой производительностью. К таковым относится и проблема освоения серийного выпуска оборудования для приготовления прогрессивных

строительных материалов, изделий и сборных конструкций. Создаваемые в последнее время рецептуры строительных смесей и сухих порошковых материалов, качества и свойства которых во многом зависят от качества их смешивания, не всегда возможно получить, используя традиционные способы и агрегаты.

Длительность и качество перемешивания важнейшим образом связаны с параметрами смешивающих органов и режимом их работы, характером распределения компонентов по объему замеса после загрузки и интенсивностью воздействия рабочего органа на смесь.

Современные исследования. В Братском государственном университете за последнее время созданы и исследуются смесители принудительного действия со встроенным виброактиватором оболочечного типа [1 – 15]. Некоторые из конструкций представлены на рис. 1 [1, 3, 6, 9 – 12, 14, 15].

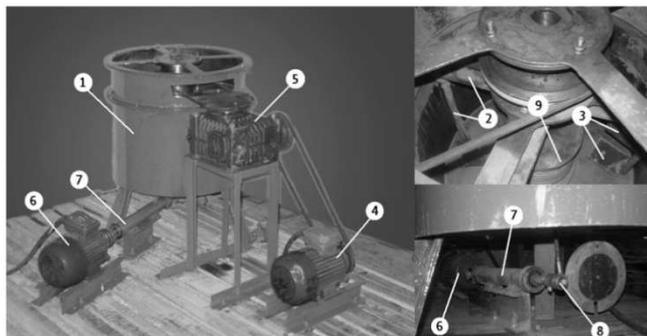


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – камера смешивания; 2 – ротор; 3 – лопасти; 4 – электродвигатель привода вращения ротора с лопастями; 5 – редуктор привода вращения ротора с лопастями; 6 – электродвигатель привода вибровозбудителя; 7 – вал привода вибровозбудителя; 8 – кривошипно-шатунный механизм; 9 – виброактиватор

Виброактиваторы оболочечного типа:

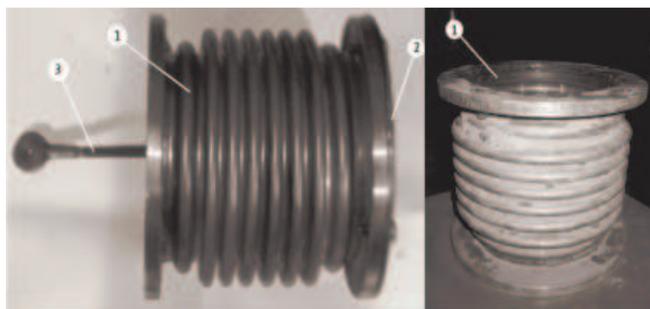


Рис. 2. Сильфонный виброактиватор: 1 – сильфон; 2 – крышка сильфона; 3 – шатун



Рис. 3. Виброактиватор наборного типа

Долгосрочные исследования ряда моделей предлагаемых смесителей доказали эффективность их использования и подтвердили снижение энергоемкости процесса смешивания и общее увеличение производительности при относительном улучшении качественных показателей [1 – 15].

Суммарная мощность (состоящая из мощности, используемой для привода лопастей смесителя, и мощности, используемой для привода виброактиватора), потребляемая в процессе смешивания, более чем в 2 раза меньше мощности, используемой для привода лопастей без использования виброактиватора.

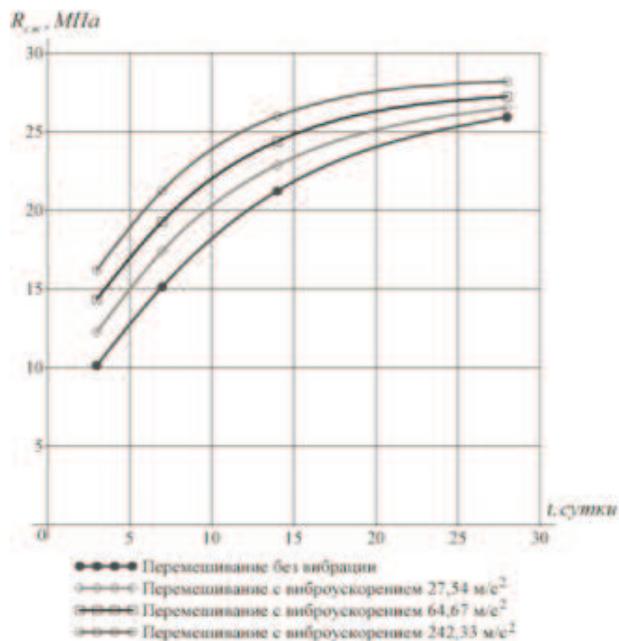


Рис. 4. Зависимость прочности образцов бетона на сжатие от времени твердения (время перемешивания 30 сек., амплитуда вибрирования 3 мм)

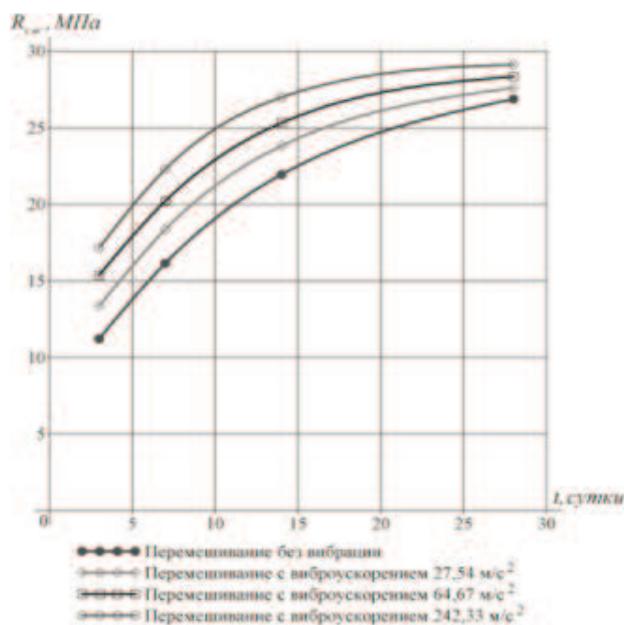


Рис. 5. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (время перемешивания 60 сек., амплитуда вибрирования 3 мм)

Как видно из графиков экспериментальных исследований (рис. 4, 5) [6, 10], при использовании вибрации можно уменьшить время смешивания в 2 раза (с 60 с до 30 с), при этом качественный показатель готового продукта – прочность образцов на сжатие при определенном времени твердения оказывается больше (на третьи сутки твердения прочность образцов вибрированного бетона с виброускорением $242,33 \text{ м/с}^2$ и временем перемешивания 30 с оказалась на 31,25 % больше, чем аналогичный показатель образца бетона, полученного без применения вибрации и времени смешивания 60 с).

Эффективность работы. Ключевым параметром, определяющим эффективность смесителя, безусловно, является производительность.

Производительность роторно-вибрационного смесителя циклического действия зависит от объема замеса, времени цикла перемешивания и коэффициента использования агрегата по времени.

Часовую производительность определяют по следующей зависимости:

Часовую производительность определяют по следующей зависимости:

$$Q = \frac{3600 \cdot V_3 \cdot k_B}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4},$$

где V_3 – объем замеса, м^3 ; k_B – коэффициент использования во времени; t_1 – продолжительность загрузки, с ; t_2 – продолжительность перемешивания, с ; t_3 – продолжительность выгрузки, с ; t_4 – время приведения агрегата в исходное состояние, с .

Наибольшее время занимает перемешивание. Практика определяет его продолжительность в диапазоне 120...180 с.

На настоящем этапе исследований важной задачей являются определение рационального времени перемешивания и разработка методики определения данного параметра для натуральных производственных конструкций, поскольку проведение экспериментов проходило на моделях смесителей объемом 50...60 л готового замеса [6, 10].

Предлагаемое решение. На основе имеющихся экспериментальных данных о времени перемешивания на моделях [6, 10] можно, используя основные положения комбинированной теории процесса смешивания, разработанной В.А. Кузьмичевым, определить время перемешивания для типовых геометрически подобных смесителей. Из всего многообразия возможных изучаемых физических параметров процесса перемешивания, таких, как скорость перемешивания частиц, их направления, наиболее общим и определяющим является концентрация W .

Изменение концентрации компонента смеси в процессе перемешивания описывается уравнением:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = b_{\parallel} \frac{\partial^2 W}{\partial h^2} + b_{\perp} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial W}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \right],$$

где b_{\parallel} – коэффициент перемешивания по вертикали; b_{\perp} – коэффициент перемешивания по горизонтали; R , h , φ – цилиндрические координаты.

Коэффициент перемешивания определяется режимом вибрации, структурно-реологическими свойствами смеси и конструктивными особенностями смесителя. Величины их могут быть определены экспериментальным путем, с помощью теории подобия и анализа размерностей.

Решение этого уравнения методом распределения переменных получено в виде:

$$V_t = V_0 \cdot e^{-\alpha R, h, \varphi t},$$

где V_t – коэффициент неоднородности концентрации компонента в момент времени t ; V_0 – коэффициент неоднородности концентрации компонента в момент времени t_0 .

Из этого уравнения получаем формулу времени перемешивания:

$$t = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{V_0}{V_t}.$$

Распространять эти данные на типовые конструкции смесителей возможно только на основе теории подобия и анализа размерностей.

Приняв константы подобия:

$$\frac{h_M}{h_H} = \frac{R_M}{R_H} = C_l; \quad \frac{t_M}{t_H} = C_t; \quad \frac{W_M}{W_H} = C_W; \quad \frac{b_{\parallel}^M}{b_{\parallel}^H} = C b_{\parallel};$$

$$\frac{b_{\perp}^M}{b_{\perp}^H} = C b_{\perp},$$

можно написать уравнение для смесителя, геометрически подобного экспериментальному:

$$\frac{C_W}{C_t} \cdot \frac{\partial W}{\partial t} = \frac{C b_{\parallel} \cdot C_W}{C_l^2} \cdot b_{\parallel} \frac{\partial^2 W}{\partial h^2} + \frac{C b_{\perp} \cdot C_W}{C_l^2} \cdot b_{\perp} \cdot \left[\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial W}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \right],$$

а значит:

$$\frac{C_W}{C_t} = \frac{C b_{\parallel} \cdot C_W}{C_l^2} = \frac{C b_{\perp} \cdot C_W}{C_l^2}.$$

Разделив на $\frac{C_W}{C_t}$, найдем индикатор подобия:

$$\frac{C b_{\perp} \cdot C_t}{C_l^2} = \frac{C b_{\parallel} \cdot C_t}{C_l^2} = 1.$$

Поскольку кинематические параметры смесителя определяют процесс перемешивания, а сформированные из них безразмерные комплексы для модели и натуре должны быть равными, естественно полагать, что:

$$C_W = C b_{\parallel} = C b_{\perp} = 1,$$

откуда: $b_{\parallel}^H = b_{\parallel}^M$ и $b_{\perp}^H = b_{\perp}^M$.

Можно найти связь между константами подобия:

$$\frac{t_H}{t_M} = C_t = \frac{h_H^2}{h_M^2} = \frac{R_H^2}{R_M^2} = C_l^2.$$

Следовательно, проектирование смесителя с большими (меньшими) размерами влечет за собой увеличение (уменьшение) времени перемешивания пропорционально квадрату геометрической константы.

Таким образом, если в модели смесителя время перемешивания составляет 6...8 сек., то для смесителя других типоразмеров время перемешивания составит:

$$t_2^H = C_l^2 \cdot t_2^M$$

Заключение

Предлагаемая методика предварительного расчета времени смешивания, удовлетворяющая качеству получаемого замеса, позволяет уже на этапе проектирования смесителей оценить эффективность предлагаемых конструкций по важнейшему показателю работы – производительности.

Литература

1. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новые роторные смесители с различными системами вибровозбуждения // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 7-9.
2. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Вибробетоносмесители: путь длиной в 70 лет // Строительные и дорожные машины. 2009. № 10. С. 15-19.
3. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н. Современные технологии интенсификации процессов перемешивания бетонных смесей // Строительные и дорожные машины. 2011. № 1. С. 37-41.
4. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н. Механическая активация бетонных смесей при интенсификации процессов перемешивания // Механизация строительства. 2011. № 2. С. 6-8.
5. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н., Никифоров Р.Е., Комаров И.В. Вибрационные методы перемешивания бетонных смесей в аспекте патентно-информационного анализа // Механизация строительства. 2011. № 4. С. 6-10.
6. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новый экспериментальный роторно-вибрационный смеситель // Строительные и дорожные машины. 2011. № 9. С. 16-19.
7. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Лиханов А.А., Ивасиив Д.М., Фигура К.Н. Определение реологических показателей бетонных смесей по их критериальной значимости // Вестник машиностроения. 2011. № 9. С. 44-49.
8. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Лиханов А.А., Ивасиив Д.М. Теоретические аспекты процесса смесеобразования бетонных смесей // Механизация строительства. 2011. № 9. С. 16-17.
9. Лобанов Д.В., Ефремов И.М. Моделирование процесса виброперемешивания бетонных смесей в смесителе с вибратором сильфонного типа // Вестник машиностроения. 2012. № 1. С. 21-25.
10. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Исследование процесса перемешивания в роторно-вибрационном смесителе // Механизация строительства. 2012. № 7. С. 40-43.
11. Фигура К.Н., Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Моделирование процесса вибрации сферической оболочки, погруженной в бетонную смесь // Механизация строительства. 2013. № 4. С. 40-44.
12. Малахов К.В., Лобанов Д.В. Вибрационный смеситель гравитационного типа // Строительные и дорожные машины. 2013. № 7. С. 33-36.
13. Малахов К.В., Лобанов Д.В. Исследования процессов перемешивания в вибросмесителе гравитационного типа // Механизация строительства. 2013. № 11. С. 7-10.
14. Лобанов Д.В. Совершенствование конструкции агрегата и процесса вибрационного перемешивания бетонной смеси: автореф. дис. канд. техн. наук. Братск, 2012. 19 с.
15. Фигура К.Н. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы смесительных агрегатов с внутренними виброактиваторами: автореф. дис. канд. техн. наук. Братск, 2013. 23 с.

при условии равенства критериев подобия.

References

1. Efremov I.M., Lobanov D.V. New rotary mixers with different systems vibroexcitation // Building and road machines. 2008. № 9. P. 7-9.
2. Efremov I.M., Lobanov D.V. vibromixers: the path length of 70 years // Building and road machines. 2009. № 10. P. 15-19.
3. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figure K.N. Modern technology intensification of the processes of mixing concrete mixtures // Building and road machines. 2011 №1. P. 37-41.
4. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figure K.N. Mechanical activation of concrete mixes with the intensification of the processes of mixing // Mechanization construction. 2011. № 2. P. 6-8.
5. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figure K.N., Nikiforov R.E., Komarov I.V. Vibratory methods of mixing concrete mixtures in terms of patent information analysis // Mechanization construction. 2011. №4. P. 6-10.
6. Efremov I.M., Lobanov D.V. New experimental rotary vibrating mixer // Building and road machines. 2011. № 9. P. 16-19.
7. Efremov I.M., Lobanov D.V., Likhanov A.A., Iwase D.M., Figure K.N. Determination of rheological parameters of concrete mixtures according to their significance criterion // Bulletin of mechanical engineering. 2011. № 9. P. 44-49.
8. Efremov I.M., Lobanov D.V., Likhanov A.A., Iwase D.M. Theoretical aspects of the process of mixing concrete mixtures // Mechanization construction. 2011. № 9. P. 16-17.
9. Lobanov D.V., Efremov I.M. Modeling process vibromixing mix concrete in a mixer with a vibrator bellows // Bulletin of mechanical engineering. 2012. № 1. P. 21-25.
10. I.M. Efremov, D.V. Lobanov. Investigation of the mixing process in rotary vibrating mixer // Mechanization construction. 2012. № 7. P. 40-43.
11. Figure K.N., I.M. Efremov, D.V. Lobanov Modeling process vibration spherical shell immersed in a concrete mix // Mechanization construction. 2013. № 4. P. 40-44.
12. Malakhov K.V., Lobanov D.V. Vibrating mixer gravity // Building and road machines. 2013. № 7. Pp. 33-36.
13. Malakhov K.V., Lobanov D.V. Study mixing processes in vibromixers gravitational type // Mechanization construction. 2013. № 11. P. 7-10.
14. Lobanov D.V. Improving the design and assembly process vibratory mixing concrete: Author. dis. Candidate. tehn. Sciences. Bratsk, 2012. 19 P.
15. Figure K.N. Justification of the design parameters and operating modes of mixing units with internal vibroaktivatorami : Author. dis. Candidate . tehn. Sciences. Bratsk, 2013. 23