

УДК 666.97.031

Экспериментальные исследования процессов вибрационного перемешивания

Д.В. Лобанов¹, И.М. Ефремов¹

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: d_lobanov@mail.ru
Статья поступила 30.03.2012, принята 24.09.2012

Бетоны и строительные растворы представляют собой искусственные материалы, получаемые из смеси, состоящей из вяжущих веществ (цемента, извести) и заполнителей (щебня, гравия и песка). Основные физико-механические свойства бетона, в частности его прочностные свойства, в значительной степени зависят от однородности структуры. Поэтому, приготавливая бетонную смесь, следует стремиться к достижению максимально возможной её однородности, которая зависит как от однородности свойств составляющих смеси, так и от равномерности их распределения. Одним из наиболее эффективных методов, повышающих качество бетона, является вибрационная обработка. Представленное описание в данной статье экспериментальной вибрационной смесительной установки, а так же анализ исследования процесса перемешивания бетонной смеси по результатам времени сравнения прочности бетонов, приготовленных в этом смесителе с применением вибрации и без нее, дают наглядное представление об эффективности внедрения вибрации в процесс перемешивания. Виброактивация позволяет снизить время отвердевания готового бетонного изделия, что дает возможность по истечении 7-14 суток, когда происходит набор 90% от своей максимальной прочности, рекомендовать ее к применению по назначению. Сравнительный базовый режим, имеющий только перемешивающий процесс, как показывают результаты, получают 90% своей прочности только на 20 суток. Данное преимущество позволит сократить время получения готового изделия, сократить возможные простои в технологическом процессе, кроме того, снижение энергоемкости позволит сократить время приготовления смеси и повысить производительность.

Ключевые слова: Бетонная смесь, вибрация, вибрационная обработка, активация, цементное тесто, вибровозбудитель, сиффон, прочность, время перемешивания.

Experimental researches into the vibration mixing processes

D.V. Lobanov¹, I.M. Efremov¹

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: d_lobanov@mail.ru
The article received 30.03.2012, accepted 24.09.2012

Concrete and mortar represent artificial materials derived from a mixture consisting of binding materials (cement, lime) and aggregates (crushed stone, gravel and sand). The main physical and mechanical properties of concrete, in particular, its strength properties, to a large extent depend on structure smoothness. Therefore, while preparing the concrete mix, the aim should be to achieve its highest possible homogeneity, which depends both on the homogeneity properties of the mixture components and their distribution uniformity. One of the most effective methods to improve the quality of concrete is vibromechanical treatment. The description of the experimental vibratory mixer device provided in the article, as well as the analysis of the concrete mixture mixing process as to the results of maturing time comparison, prepared in a mixer with and without the use of vibration, clearly demonstrates the effectiveness of vibration introduction in the mixing process. Vibroactivation allows reducing the finished concrete product maturing time, and makes it possible to recommend its intended application after the expiry of a period of 7-14 days when concrete maximum strength reaches 90%. The conducted analysis demonstrates that applying the comparative basic mode involving the mixing process alone enables to achieve 90% of its strength just in 20 days. This advantage will allow reducing the finished product production time and potential technological process downtime. Besides, the energy intensity reduction will make it possible to cut down the mixing time and increase productivity.

Keywords: concrete mixture, vibration, vibromechanical treatment, activation, water-cement paste, vibration exciter, bellows, strength, mixing time.

Бетоны и строительные растворы представляют собой искусственные материалы, получаемые из смеси, состоящей из вяжущих веществ (цемента, извести) и заполнителей (щебня, гравия и песка). В результате химической реакции между вяжущими веществами и водой образуется цементный (известковый) камень, заполняющий пространство между щебнем и песком. Для экономии цемента и получения более прочного бетона следует так подбирать компоненты смеси, что-

бы между ними было наименьшее количество пустот. В качестве заполнителей широко применяются легкие материалы: шлак, пемза, керамзит.

Основные физико-механические свойства бетона, в частности его прочностные свойства, в значительной степени зависят от однородности структуры. Поэтому, приготавливая бетонную смесь, следует стремиться к достижению максимально возможной однородности, которая зависит как от однородности свойств

составляющих смеси, так и от равномерности их распределения [1, 2].

Опыт эксплуатации смесителей принудительного действия роторного типа, используемых на предприятиях по производству сборного железобетона, показывает, что при приготовлении отдельных смесей высокая однородность не достигается.

Одним из наиболее эффективных методов, повышающих качество бетона, является вибрационная обработка [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Воздействие вибрации на цементобетонную смесь приводит ее в состояние тиксотропного разжижения [10], частицы смеси, многократно соударяясь между собой, имеют более высокую способность к диффузному взаимодействию (взаимопроникновению), нежели при отсутствии вибрационного воздействия, когда смесь практически не разжижается, а соударение групп частиц происходит в несколько раз реже. Кроме этого, при интенсивном вибрировании смеси в процессе ее приготовления происходит известная активация цементного камня, которая повышает скорость твердения бетонной массы и прочность изделия, а также улучшает структуру бетона [4, 11, 12].

Кроме того, виброперемешивание устраняет отрицательные явления, понижая вязкость цементного теста. В связи с этим в процессе виброперемешивания жесткие бетонные смеси превращаются в пластичные, цементное тесто при вибрационных воздействиях вновь становится клейким, что создает условия для обволакивания зерен заполнителя. К тому же, устраняется вредное действие глинистых примесей в песке, которые препятствуют сцеплению цементного камня с заполнителем, понижая прочностные свойства бетона [4, 11].

Отдельные включения глины, попав в цементный камень, при переменном увлажнении и высыхании являются концентраторами напряжений и способствуют преждевременному разрушению бетона, понижая его долговечность. При интенсивном виброперемешивании бетонной смеси глинистые пленки механически счищаются с поверхности зерен заполнителя, включения глины разрушаются, самопроизвольно диспергируясь в воде до коллоидных размеров, и равномерно распределяются в цементном тесте, пластифицируя его. Так же ведут себя и пылеватые составляющие щебня и песка [4].

Виброперемешивание позволяет равномерно распределить в объеме составляющие бетонной смеси, делая ее более однородной по составу (показатель качества), чем при обычном перемешивании, разрушить коагуляционную структуру коллоидного цементного клея, равномерно распределить воду между зернами цемента и цементное тесто между зернами заполнителя, что способствует хорошей удобоукладываемости жестких бетонных смесей вследствие их пластифицирования и получения цементного камня с тонкокапиллярной поровой структурой [4].

Эти факты, основанные на данных физико-химических процессов, и способствовали использованию вибрации уже при приготовлении бетонных смесей [3, 4, 5].

Вибрация разрушает коагуляционную структуру, снижая вязкость цементного теста, в результате чего цементное молоко равномерно распределяется по всему объему. Происходящее при этом усиленное диспергирование цементных частиц способствует более полной и быстрой гидратации цемента [5].

Активация цементного теста в процессе виброперемешивания повышает скорость твердения бетонной массы и прочность изделия, а также улучшает структуру бетона [10].

В настоящее время известны разнообразные конструкции вибрационных смесителей, которые по конструктивным особенностям и способам перемешивания можно разделить на три основные группы [6, 7, 8, 9].

1. Вибрационные смесители, в которых процесс смешивания происходит только за счет самоциркуляции смеси, возникающей в результате колебаний корпуса и отдельных элементов (каркасов).

2. Вибрационные смесители, в которых принудительное смешивание сочетается с вибрационным воздействием на смесь через корпус, лопастной вал либо встроенный элемент конструкции.

3. Вибрационные смесители, в которых происходит свободное смешивание смеси с одновременным вибрационным воздействием через корпус либо встроенный элемент конструкции.

Вибрационные воздействия вызывают тиксотропное разжижение приготавливаемой смеси, в результате чего снижается условный предел текучести и уменьшается вязкость (в 100 и более раз), отчего смесь приобретает свойства жидкости.

Однако наличие больших колеблющихся масс, низкая надежность элемента привода рабочих органов, большая энергоемкость процесса смешивания, малая производительность являются причиной того, что вибрационные смесители не нашли широкого применения в промышленности.

На основании вышеизложенного в Братском государственном университете на кафедре подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (СДМ) был разработан экспериментальный роторно-вибрационный смеситель (рис. 1). Роторно-вибрационный смеситель содержит камеру смешивания и ротор с установленными на нем лопастями. В центре камеры смешивания установлен вибратор с механическим возбуждением колебаний от кривошипно-шатунного механизма. Вибратор (рис. 2) выполнен в виде сильфона и расположен в нижней части камеры смешивания. В смесителе имеются также окна загрузки и выгрузки материалов. Конструктивные особенности сильфона обуславливают передачу вибрации на обрабатываемую смесь и максимально удовлетворяют требованиям воздействия виброзащиты объекта как на окружающую среду, так и на отдельные элементы конструкции в целом.

Главным образом, в задачу по исследованию интенсификации бетонной смеси входило установление влияния вибрации с помощью экспериментального роторно-вибрационного смесителя на интенсивность и качество перемешивания при приготовлении бетонных смесей.

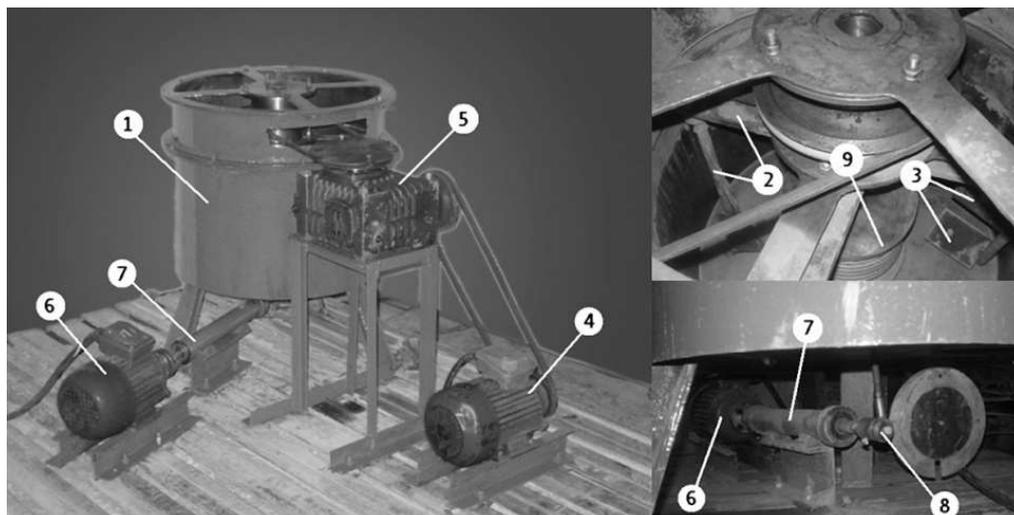


Рис. 1. Общий вид экспериментального роторно-вибрационного смесителя: 1 – камера смешивания; 2 – ротор; 3 – лопасти; 4 – электродвигатель привода вращения ротора с лопастями; 5 – редуктор привода вращения ротора с лопастями; 6 – электродвигатель привода вибровозбудителя; 7 – вал привода вибровозбудителя; 8 – кривошипно-шатунный механизм; 9 – вибровозбудитель (сильфон).

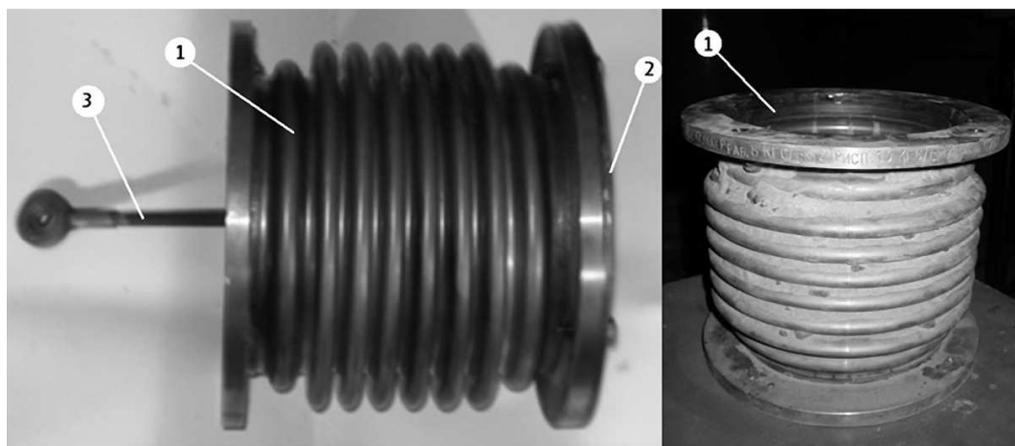


Рис. 2. Вибратор: 1 – сильфон; 2 – крышка сильфона; 3 – шатун.

Эффективность виброперемешивания определялась по результатам сравнения прочности бетонов, приготовленных в роторно-вибрационном смесителе с применением вибрации и без нее.

В качестве вяжущего применялся портландцемент Ангарского цементного завода марки М400 Д20. Мелким заполнителем являлся зуевский сортированный песок, добываемый карьером №1 братского месторождения, в качестве крупного заполнителя использовался щебень диабазовой фракции 10-20 мм.

Состав бетонной смеси был выбран с В/Ц = 0,5 и подбирался в соответствии с ГОСТ 27006-86 в следующих пропорциях Ц:П:Щ = 1:2:3. Формование и испытание образцов размером 100x100x100 мм проводились в соответствии с ГОСТ 10105-86 и ГОСТ 10181-2000.

Составляющие смеси загружались в смеситель послойно в следующей последовательности: на дно смесителя укладывался песок, затем цемент, после чего щебень, в последнюю очередь равномерно на всю загрузку подавалось необходимое количество воды в соответствии с В/Ц = 0,5. Включался вибратор, и сразу выводилась заданная скорость вращения лопастного

вала. По истечении заданного времени выключался привод лопастного вала. Затем выключался вибратор, и вся смесь из смесителя выгружалась в специальные металлические формы размером 100x100x100 мм. В соответствии с ГОСТ 10105-86 и ГОСТ 10181-2000 образцы в течение 1 минуты уплотнялись на специальной вибрационной площадке с частотой 3000 мин⁻¹ и амплитудой 0,35 мм. С использованием этой же методики формовались образцы из смеси, полученной в том же смесителе, но уже при выключенном вибраторе.

Амплитуда и частота вибрации соответствовали: A=1; 2; 3 мм, $\omega=95,82; 146,82; 284,21 \text{ с}^{-1}$. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 3, 4 и 5.

В общем виде результаты испытаний показывают эффективность внедрения вибрации в процесс перемешивания. Это обусловлено значительным снижением времени отвердевания готового бетонного изделия, что дает возможность по истечении 7-14 суток, когда происходит набор 90 % максимальной прочности, рекомендовать изделие к применению по назначению.

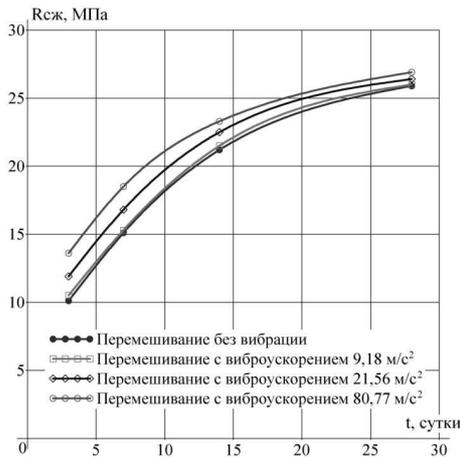


Рис. 3. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (время перемешивания 30 секунд, амплитуда вибрирования 1 мм).

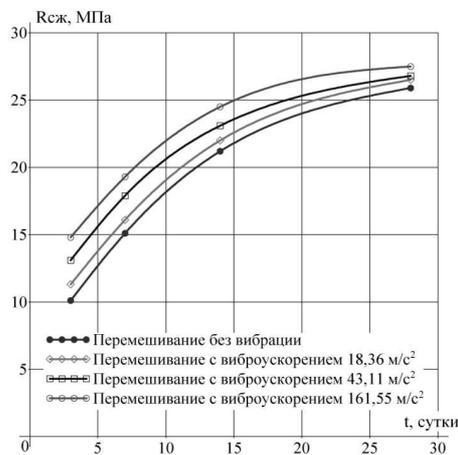


Рис. 4. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (время перемешивания 30 секунд, амплитуда вибрирования 2 мм).

В сравнительном базовом режиме, имеющем только перемешивающий процесс, как показывают результаты, образцы получают 90 % своей прочности только на 20 - е сутки.

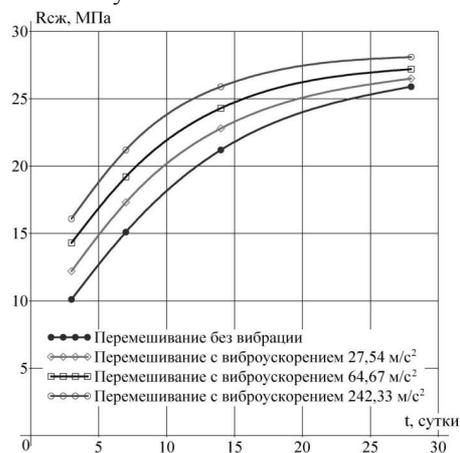


Рис. 5. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (время перемешивания 30 секунд, амплитуда вибрирования 3 мм).

Данное преимущество позволяет сократить время получения готового изделия и уменьшить возможные простои в технологическом процессе. Кроме того, снижение энергоемкости позволяет сократить время приготовления смеси и повысить производительность.

Литература

1. 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.
2. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н. Механическая активация бетонных смесей при интенсификации процессов // Механизация строительства. 2011. №2. С. 6-8.
3. Десов А.Е. Вибрированный бетон. М.: Госстройиздат, 1956. 229 с.
4. Ефремов И.М. Интенсификация процесса и выбор параметров роторно-вибрационного смесителя: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1985. 252 с.
5. Кузьмичев В.А. Методы моделирования и проектирования вибрационных смесительных машин: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Л., 1989. 32 с.
6. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новые роторные смесители с различными системами вибровозбуждения // Строительные и дорожные машины. 2008. №9. С. 7-9.
7. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Вибробетоносмесители: путь длиной в 70 лет // Строительные и дорожные машины. 2009. № 10. С. 15-19.
8. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н., Комаров И.В., Никифоров Р.Е. Вибрационные методы перемешивания бетонных смесей в аспекте патентно-информационного анализа // Механизация строительства. 2011. № 4. С. 6-10.
9. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новый экспериментальный роторно-вибрационный смеситель // Строительные и дорожные машины. 2011. № 9. С. 16-19.
10. Ребю П. Вибрирование бетона. М.: Физматгиз, 1970. 256 с.
11. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Исследование процесса перемешивания в роторно-вибрационном смесителе // Механизация строительства. 2012. № 7. С. 40-43.
12. Ахвердов И.Н. Влияние виброперемешивания бетонной смеси на деформирование структуры цементного камня // Исследования по бетону и железобетону. Рига, 1961. С. 17-26.

References

1. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N. Contemporary technologies for the intensification of concrete mixes mixing // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. №1. S. 37-41.
2. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N. Mechanical activation of concrete mixtures under the processes intensification // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2011. №2. S. 6-8.
3. Desov A.E. The vibrated concrete. M.: Gosstroyizdat, 1956. 229 s.
4. Efremov I.M. Process intensification and the choice of the rotary-vibration mixer parameters: diss. ... kand. tekhn. nauk. L., 1985. 252 s.
5. Kuzmichev V.A. Methods of vibration mixing machines modeling and design: avtoref. diss. ... d-ra. tekhn. nauk. L., 1989. 32 s.
6. Efremov I.M., Lobanov D.V. New rotary mixer with various vibroexcitation systems // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008. №9. S. 7-9.
7. Efremov I.M., Lobanov D.V. Vibro-concrete mixers: 70 years in existence // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2009. №10. S. 15-19.
8. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N., Komarov I.V., Nikiforov R.E. Vibration methods and technologies of the intensification of the concrete mixtures mixing processes in the patent-information analysis aspect // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2011. №4. S. 6-10.
9. Efremov I.M., Lobanov D.V. New experimental rotary-vibration mixer // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. №9. S. 16-19.
10. Rebyu P. Concrete vibration. M.: Fizmatgiz, 1970. 256 s.
11. Efremov I.M., Lobanov D.V. Research of the mixing process in a rotary-vibration mixer // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2012. №7. S. 40-43.
12. Akhverdov I.N. Effect of concrete vibromixing on the cement stone structure deformation // Issledovaniya po betonu i zhelezobetonu. Riga. 1961. S. 17-26.