

Заключение

Установлено, что после МИО режущих элементов токарных резцов с пластинами из твердых сплавов численное значение микротвердости увеличивается, коэффициент вариации рассеивания значений снижается в среднем в два раза. Это приводит к повышению стабильности структуры твердого сплава, обуславливающей повышение надежности режущих инструментов и среднего периода стойкости в 1,6 раза. Эксплуатационные длительные испытания режущих пластин сборных токарных резцов показали, что МИО повышает стабильность эксплуатации режущего инструмента, о чем свидетельствует уменьшение диапазона рассеивания стойкости и уменьшение коэффициента вариации более чем в два раза.

Определены рациональные режимы МИО для получения параметров кристаллической решетки компонентов твердых сплавов, используемых для предварительной обработки на тяжелых токарных станках, которая имеет максимальное значение прочности. Напряженность магнитного поля при этом равна $1,8 \cdot 10^5$ А/м, продолжительность обработки 2 мин., время выдержки после обработки более 24 ч, частота импульсов магнитного поля $f = 5$ Гц

Литература

1. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Шероховатость поверхности после шлифования по методу двойного травления // Объединенный науч. журн. 2002. № 21. С. 65.
2. Янюшкин А.С., Сафонов С.О., Торопов В.А., Стебеньков Ю.Н., Лосева Н.Р., Ереско Т.Т., Баранов А.Н., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Якимов С.А., Лосев А.Б., Федоров Б.В. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2006. 302 с.
3. Майборода В.С., Ульяненко Н.В., Дюбнер Л.Г. Застосування магнітно-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту // Вісн. ЖДТУ. 2003. № 3 (27). С. 22–31.

4. Kals H. I., Gielise P. I. The significance of structural parameters in failure of cemented carbides: Annals of CIRP, 1975. 24/1. P. 65–68.
5. Kim C.S., Massa T.R., Rohrer G.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC–Co Composites // Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater, 2006. 24 [1–2]. P. 89 – 100.
6. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: справочник: М.: Машиностроение, 1979. 134 с.
7. Ковалев В.Д., Васильченко Я.В., Клименко Г.П., Андронов А.Ю., Ткаченко Н.А. Применение обработки импульсным магнитным полем для упрочнения деталей машин и режущего инструмента // Вестн. двигателестроения. 2004. № 4. С. 149–151.
8. Хае Г.Л. Прочность режущего инструмента: М.: Машиностроение, 1975. 168 с.
9. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. М.: Металлургиздат, 1963. 366 с.

References

1. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. Surface roughness after grinding by the dual etching technique // Obyedinenny nauch. zhurn. 2002. № 21. S. 65.
2. Yanyushkin A.S., Safonov S.O., Toropov V.A., Steben'kov Yu.N., Loseva N.R., Eresko T.T., Baranov A.N., Lobanov D.V., Popov V.Yu., Sur'yev A.A., Yakimov S.A., Losev A.B., Fedorov B.V. The improvement of the operating procedures in mechanical engineering: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGu, 2006. 302 s.
3. Mayboroda V.S., Ul'yankenko N.V., Dyubner L.G. The employment of magnetic abrasive treatment for cutting tool strengthening // Vestn. ZhGTU. 2003. №3 (27). S. 22–31.
4. Kals H. I., Gielise P. I. The significance of structural parameters in failure of cemented carbides: Annals of CIRP, 1975. 24/1. Pp. 65–68.
5. Kim C.S., Massa T.R., Rohrer G.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC–Co Composites: Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater, 2006. 24 [1–2]. Pp. 89 – 100.
6. Mirkin L.I. The X-ray diffraction inspection of engineering materials: reference book. M.: Mashinostroeniye, 1979. 134 s.
7. Kovalev V.D., Vasil'chenko Ya.V., Klimenko G.P., Andronov A.Yu., Tkachenko N.A. The use of the pulsed magnetic field treatment for machine parts and cutting tools strengthening// Vestn. dvigatelestroeniya. 2004. № 4. S. 149–151.
8. Haet G.L. The cutting tool strength. M.: Mashinostroeniye, 1975. 168 s.
9. Gorelik S.S., Rastorguev L.N., Skakov Yu. A. The metals X-ray and electron-diffraction analysis. M.: Metallurgizdat, 1963. 366 s.

УДК 666.97.031

Экспериментальный анализ процесса виброактивации приготовления бетонных смесей в виброресмесителе гравитационного типа

К.В. Малахов^{1,а}, Д.В. Лобанов^{2,б}

¹Тюменский государственный нефтегазовый университет, ул. Республики 47, Тюмень, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аkirill@007.ru, ^бd_lobanov@mail.ru

Статья поступила 12.04.2013, принята 2.08.2013

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 ее 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 в данной статье опи-

сание экспериментальной вибрационной смесительной установки гравитационного типа, а также 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: вибрация обеспечивает повышение интенсивности процесса, что приводит к сокращению времени смешивания и ускоряет процесс твердения бетона, особенно на ранних сроках. Данные преимущества позволят сократить время получения готового изделия и 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, прочность, время перемешивания, гравитационный смеситель.

Experimental analysis of vibroactivation process of concrete mixing in gravity vibromixer

K.V. Malakhov^{1, a}, D.V. Lobanov^{2, b}

¹Tyumen State Oil and Gas University, 47 Respubliki st., Tyumen', Russia

²Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

^akirill@007.ru, ^bd_lobanov@mail.ru

Received 12.04.2013, accepted 2.08.2013

Concrete and mortar are artificial materials produced from a mixture of binders (cement, lime) and aggregates (crushed stone, gravel and sand). The basic physical and mechanical properties of concrete, particularly its strength properties, are highly dependent on structure uniformity. Therefore, when preparing the concrete mix, one should aim at achieving as great homogeneity as possible that depends on both the mixture properties uniformity and the distribution efficiency. One of the most effective ways to increase the quality of concrete is its vibration treatment. The description of the experimental gravity vibromixer presented in this article as well as the research analysis of the concrete mixing process based on the results of comparing the concrete strength time prepared in the mixer with vibration and without it, help visualize the effectiveness of introducing vibration in the mixing process. Vibration enhances the intensity of the process, which leads to the mixing time reduction and intensifies the concrete setting process, especially at early stages. These benefits facilitate the output capacity expansion and prevent possible downtime in the operating procedure, and, in addition, the reduction in energy intensity will allow reducing mixing time and increase productivity.

Keywords: concrete mixture, vibration, vibration treatment, activation, cement dough, vibratory exciter, strength, mixing time, gravity mixer.

Бетоны являются искусственными материалами, которые на первоначальном этапе производства представляют собой различные смеси, состоящие главным образом из вяжущего вещества (цемента или извести), мелкого заполнителя (песка), крупного заполнителя (щебень или гравий) и воды. В результате химической реакции вяжущих веществ с водой образуется цементный (известковый) камень, заполняющий пространство между щебнем и песком.

На технологию приготовления бетонов и их укладку большое влияние оказывает количество вяжущего вещества и воды, которые в основном определяют подвижность и укладываемость смеси. От этих же компонентов зависит и прочность бетона. Затвердевший бетон характеризуется маркой, т. е. пределом прочности образцов на сжатие в 28-дневном возрасте [1 – 9].

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].

Приготовление (перемешивание) бетонов и растворов осуществляется в бетоно- и растворосмесителях [1 – 6].

Опыт эксплуатации смесителей гравитационного 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 [7], частицы смеси, многократно соударяясь между собой, имеют более высокую способность к диффузному (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, 8, 9].

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 воз-

действиях вновь становится клейким, что создает условие 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, 8].

Отдельные включения глины, попав в цементный камень, при переменном увлажнении и высыхании являются концентратором 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 получению 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 [7].

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, лопастный вал либо встроенный элемент конструкции.

3. Вибрационные смесители, в которых происходит свободное смешивание смеси с одновре-

менным вибрационным воздействием через корпус либо встроенный элемент конструкции.

Вибрационные воздействия вызывают тиксотропное разжижение приготавливаемой смеси, в результате чего снижается их условный предел текучести и уменьшается вязкость (в 100 и более раз), от чего 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 [3, 6, 8].

На основании вышеизложенного в Тюменском государственном нефтегазовом университете, на кафедре транспортных и технологических систем (ТТС), совместно с кафедрой подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (СДМ) Братского государственного университета были проведены экспериментальные исследования по процессам перемешивания бетонных смесей на примере вибрационного смесителя гравитационного типа (рис. 1, 2) [10 – 12].

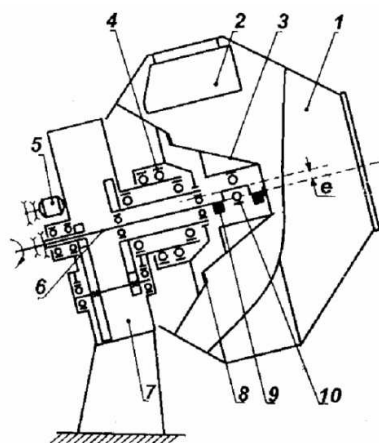


Рис. 1. Кинематическая схема экспериментального вибрационного смесителя гравитационного типа: 1 – смесительный барабан; 2 – лопасти; 3 – корпус вибровозбудителя; 4 – подшипники; 5 – электродвигатель привода вращения барабана; 6 – эксцентриковый вал; 7 – двухступенчатый редуктор; 8 – резиновая муфта; 9 – противовесы; 10 – шатунный подшипник

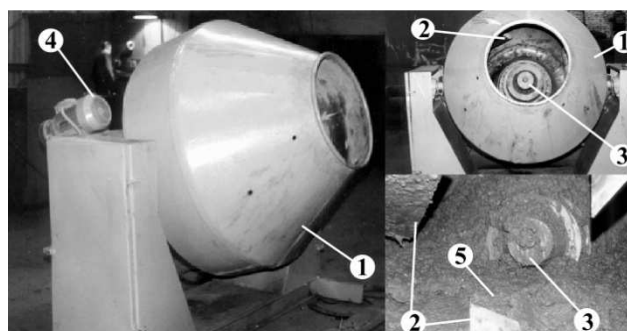


Рис. 2. Экспериментальный вибрационный смеситель гравитационного типа: 1 – барабан; 2 – лопасти; 3 – вибровозбудитель; 4 – электродвигатель привода вибровозбудителя; 5 – приготавливаемая бетонная смесь

Экспериментальный смеситель содержит смесительный барабан с подъемно-сбрасывающими лопастями, который через подшипники опирается на корпус редуктора. Внутри смесительного барабана установлен корпус вибровозбудителя на шатунном подшипнике. Привод смесительного барабана содержит электродвигатель с двухступенчатым редуктором, а привод вибровозбудителя – электродвигатель с клиноременной передачей и эксцентриковый вал, проходящий внутри полого вала редуктора. Вибровозбудитель совершает колебания в результате вращения эксцентрикового вала. Для обеспечения уравнивания колеблющейся массы предусмотрена балансировка посредством установки протинковосов. Резиновая муфта передает крутящий момент корпусу вибровозбудителя и обеспечивает герметичность корпуса вибровозбудителя. Процесс смешивания происходит в результате многократного попеременного поднятия материала лопастями и его свободного падения при одновременной передаче на материал вибрационного воздействия (рис. 1, 2) [10 – 12].

В задачу по исследованию процессов интенсификации входило установление влияния вибрации с помощью экспериментального вибрационного смесителя гравитационного типа на интенсивность и качество перемешивания при приготовлении бетонных смесей.

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

В качестве вяжущего применяется портландцемент Искитимского цементного завода марки М400 Д20, выпускаемый ОАО «Искитимцемент». Мелким заполнителем являлся технологический песок карьера «Озеро Андреевское», добываемый гидромеханизированным способом на озере Андреевское около п. Боровский, в непосредственной близости от г. Тюмени. В качестве крупного заполнителя использовался щебень диабазовой фракции 10-20 мм.

Были подобраны бетонные смеси, в соответствии с ГОСТ 27006-86, следующих составов: 1 – в пропорциях Ц:П:Щ = 1:2,5:4 с В/Ц = 0,6 по проектному классу БГС В15 Ж1 ГОСТ 7473-94; 2 – в пропорциях Ц:П:Щ = 1:2:3 с В/Ц = 0,5 по проектному классу БГС В25 Ж1 ГОСТ 7473-94; 3 – в пропорциях Ц:П:Щ = 1:2,5:4 с В/Ц = 0,3 по проектному классу БГС В15 П1 ГОСТ 7473-94. Формование и испытание образцов размером 100x100x100 мм проводились в соответствии с ГОСТ 10105-86 и ГОСТ 10181-2000.

Составляющие смесей загрузались в смеситель послойно в следующей последовательности: в барабан смесителя укладывался песок, затем цемент, после чего щебень, в последнюю очередь, равномерно на всю загрузку, подавалось необходимое количество воды в соответствии с В/Ц для каждого типа бетонной смеси. Включался вибратор, и сразу выводилась заданная скорость вращения барабана. Причем, амплитуда и частота вибрации соответствовали: $A = 6$ мм, $\omega = 234,5$ с⁻¹. Время перемешивания с применением вибрации было равным 60 с и 90 с соответственно. По истечении заданного времени выключался привод барабана. Затем выключался вибратор, и вся смесь из смесителя вы-

гружалась 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 0,5 мм.

Качество перемешивания определялось по прочности образцов бетона на сжатие по истечении 3, 7 и 14 суток твердения ударно-импульсным измерителем прочности «Оникс-2.5» методом неразрушающего контроля по ГОСТ 22690-88, а по истечении 28 суток твердения – разрушающим методом на прессе П-125 в соответствии с ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 18105-86.

Пользуясь этой же методикой, формовались образцы из смесей, полученных в том же смесителе, но уже при выключенном вибраторе. При этом значение продолжительности перемешивания без применения вибрации задавалось в соответствии с рекомендациями по ГОСТ 7473-94: $t = 90$ с.

Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 3, 4 и 5.

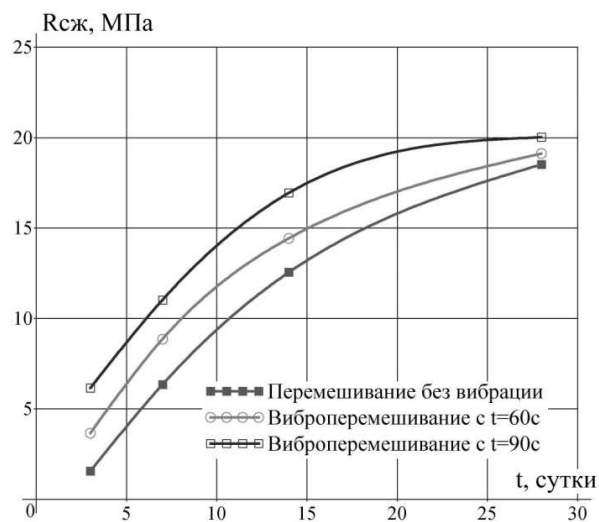


Рис. 3. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (смесь БГС В15 Ж1 ГОСТ 7473-94)

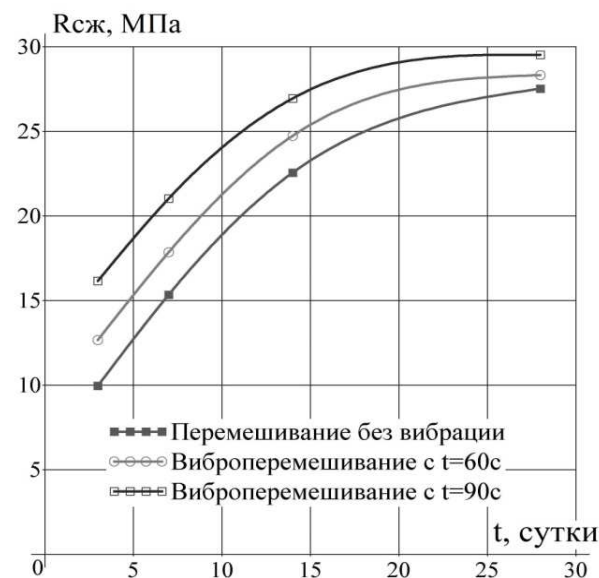


Рис. 4. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (смесь БГС В25 Ж1 ГОСТ 7473-94)

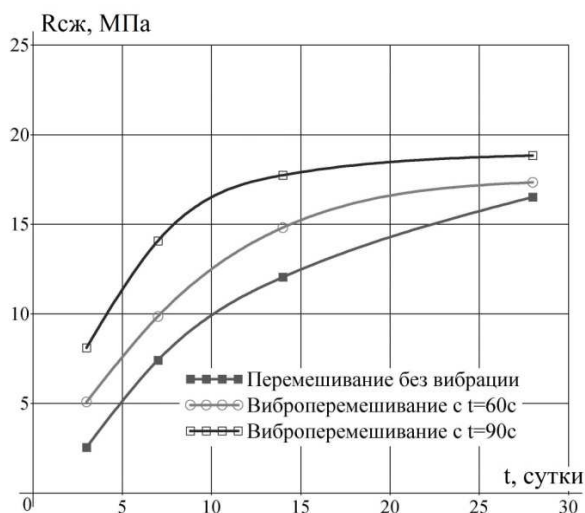


Рис. 5. Зависимость прочности образцов на сжатие от времени твердения (смесь БГС В15 П1 ГОСТ 7473-94)

Анализ результатов испытаний образцов бетона на сжатие свидетельствует об эффективности использования вибрации в процессах перемешивания, поскольку это обеспечивает:

- повышение интенсивности процесса, что приводит к сокращению времени смешивания;
- ускорение процесса твердения бетона, особенно на ранних сроках.

Данные преимущества позволят сократить время получения готового изделия и возможные простои в технологическом процессе, кроме того, снижение энергоемкости позволит сократить время приготовления смеси и повысить производительность [13].

Виброперемешивание особенно важно применять при производстве строительных блоков методом вибропрессования, где в качестве смесей используются смеси малой влажности (сухие смеси).

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. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новые роторные смесители с различными системами вибровозбуждения // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 7-9.
4. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Вибробетоносмесители: путь длиной в 70 лет // Строительные и дорожные машины. 2009. № 10. С. 15-19.
5. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н., Комаров И.В., Никифоров Р.Е. Вибрационные методы перемешивания бетонных сме-

сей 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. Ребу П. Вибрирование бетона. М.: Физматгиз, 1970. 256 с.

8. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Исследование процесса перемешивания в роторно-вибрационном смесителе // Механизация строительства. 2012. № 7. С. 40-43.

9. Ахвердов И.Н. Влияние виброперемешивания бетонной смеси на деформирование структуры цементного камня // Исследования по бетону и железобетону: сб. ст. Рига, 1961. С. 17-26.

10. Кузьмичев В.А., Дегтярев В.С., Прозоров Е.А. Гравитационный смеситель: пат. 2033326. Рос. Федерация. № 93001655/33; заявл. 11.01.93; опубл. 20.04.95, Бюл. № 24.

11. Серебренников А.А. Рабочие процессы и методы проектирования смесительных машин с эксцентриковыми уравновешенными вибровозбудителями: дис. ... д-ра. техн. наук. СПб., 2002. 353 с.

12. Кучинский В.Н. Рабочий процесс и методика проектирования гравитационного вибрационного бетоносмесителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2001. 17 с.

13. Лобанов Д.В. Совершенствование конструкции агрегата и процесса вибрационного перемешивания бетонной смеси: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2012. 19 с.

References

1. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N. Contemporary technologies of intensification of concrete mixtures 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 v stroitel'stve. 2011. № 2. S. 6-8.
3. Efremov I.M., Lobanov D.V. New type rotor mixers equipped with different vibroexcitation systems // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008. № 9. S. 7-9.
4. Efremov I.M., Lobanov D.V. Vibratory concrete mixers: 70 years of existence // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2009. № 10. S. 15-19.
5. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N., Komarov I.V., Nikiforov R.E. Vibration methods of the processes of concrete mixtures mixing in the aspect of the patent-information analysis // Mekhanizatsiya v stroitel'stve. 2011. № 4. S. 6-10.
6. Efremov I.M., Lobanov D.V. New experimental rotary-vibration mixer // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. № 9. S. 16-19.
7. Rebyu P. Concrete vibration. M.: Fizmatgiz, 1970. 256 s.
8. Efremov I.M., Lobanov D.V. Research into the mixing process in the rotary-vibration mixer // Mekhanizatsiya v stroitel'stve. 2012. № 7. S. 40-43.
9. Akhverdov I.N. Effect of concrete vibrating mixing on the deformation of the cement rock structure // Issledovaniya po betonu i zhelezobetonu. Riga. 1961. S. 17-26.
10. Kuz'michev V.A., Degtyarev V.S., Prozorov E.A. Gravity mixer: pat. № 2033326 Ros. Federatsiya. № 93001655/33; yayavl. 11.01.1993; opubl. 20.04.1995, Byul. № 24.
11. Serebrennikov A.A. The operating processes and design methods of mixing machines with eccentric balanced exciters: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2002. 353 s.
12. Kuchinsky V.N. The operating process and the procedure of designing a gravitational vibration mixer: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Tyumen', 2001. 17 s.
13. Lobanov D.V. The development of the machine design and the process of vibratory concrete mixing: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 2012. 19 s.