

УДК 666.97.031

## Роторно-вибрационный смеситель со сдвоенным трехчастотным вибратором эллиптического типа

Д.В. Лобанов<sup>1,a</sup>, И.М. Ефремов<sup>1,b</sup>, В.А. Кузьмичев<sup>2,c</sup>, А.А. Лиханов<sup>2,d</sup>, А.Н. Лобанова<sup>1,e</sup>, Д.В. Дивин<sup>2,f</sup><sup>1</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Политехническая, 29<sup>a</sup>d\_lobanov@mail.ru, <sup>b</sup>sdm@brstu.ru, <sup>c</sup>kuzmichev\_va@mail.ru, <sup>d</sup>alihanov@yandex.ru, <sup>e</sup>a-lobanova1984@mail.ru, <sup>f</sup>d\_divin@mail.ru

Статья поступила 10.09.2013, принята 17.11.2013

*Предложена новая конструкция роторно-вибрационного смесителя со сдвоенным трехчастотным вибратором эллиптического типа. Конструкция позволяет создавать по всему объему камеры, где смешиваются компоненты бетонной смеси, вибрационное воздействие с разнонаправленными колебаниями, полностью исключая наличие «глухих» зон. Воздействие оказывают три одинаковых по амплитуде, различных по частоте и равномерно распределенных по всему объему камеры смешивания вибрационных поля, что позволяет достичь качественной интенсификации процесса перемешивания компонентов. Конструкция смесителя включает в себя два вибратора с дисковыми конструктивными элементами средних частей и толкатели, выполненные с возможностью возбуждения колебаний корпусов вибраторов от наименьшей из гофр. Это обеспечивает однородные амплитудные значения перемещений каждой точки внешней образующей металлических гофрированных оболочек и тем самым позволяет осуществить однородное распределение вибрационного поля в камере смешивания. Кроме того, при многочастотном вибрировании реализуется качественная интенсификация процесса перемешивания компонентов смеси, заключающаяся в одновременном воздействии на бетонную смесь колебаний двух и более частот и позволяющая при наложении друг на друга кривых колебаний увеличивать скорость движения частиц смеси, что, в свою очередь, повышает эффективность вибрации. Многочастотное вибрирование, исходя из того, что каждой величине зерна соответствует собственная частота колебаний, может рассматриваться как средство воздействия на наибольшее количество зерен, т. е. интенсивность многочастотного вибрирования выше, чем интенсивность каждого из составляющих его колебаний, что позволяет сократить цикл перемешивания бетонных смесей.*

**Ключевые слова:** бетонная смесь, гофрированная оболочка, вибрация, вибрационное поле, вибратор, амплитуда, частота.

## Rotary vibratory mixer with twin three-frequency elliptic type vibrator

D.V. Lobanov<sup>1,a</sup>, I.M. Efremov<sup>1,b</sup>, V.A. Kuz'michev<sup>2,c</sup>, A.A. Likhanov<sup>2,d</sup>, A.N. Lobanova<sup>1,e</sup>, D.V. Divin<sup>2,f</sup><sup>1</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

St. Petersburg State Polytechnical University, 29 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup>d\_lobanov@mail.ru, <sup>b</sup>sdm@brstu.ru, <sup>c</sup>kuzmichev\_va@mail.ru, <sup>d</sup>alihanov@yandex.ru, <sup>e</sup>a-lobanova1984@mail.ru, <sup>f</sup>d\_divin@mail.ru

Received 10.09.2013, accepted 17.11.2013

*The new design of a rotary vibratory mixer with a twin three-frequency elliptic type vibrator has been proposed. It allows implementing the possibility to generate vibration action of multidirectional fluctuations throughout the chamber, where the concrete mix components are mixed, and to completely exclude the presence of dead zones. The impact is exerted by three vibrational fields identical in amplitude and different in frequency, evenly distributed throughout the mixing chamber that results in qualitative intensification of the process of components mixing. The mixer design consists of two vibrators equipped with the midsection disk structural elements and pushers capable of generating vibrations of vibrator housing from the least corrugation. This ensures homogeneous peaks of the each point displacement values for external generatrices of the corrugated metal sheathes, thus enabling to realize a homogeneous distribution of the vibrational field in the mixing chamber. Besides, under the multi-frequency vibration, a high-quality intensification of the process of components mixing is implemented. It consists of simultaneous influence of the oscillations of two or more frequencies on the concrete mix and allows increasing the velocity of the mix particles movement under the imposition of propagation curves, which, in turn, increases vibration efficiency. Taking into account the fact that each grain size has its natural frequency, the multi-frequency vibration can be considered as a tool to influence on the largest number of grains, i.e. the intensity of the multi-frequency vibration is higher than that of each of the component fluctuations, thereby allowing you to reduce the mixing cycle of concrete mixes.*

**Keywords:** concrete mix, corrugated sheath, vibration, vibrational field, vibrator, amplitude, frequency.

**Введение.** В настоящее время одной из ключевых проблем в строительной индустрии является совершенствование оборудования, предназначенного для приготовления строительных смесей. Реалии современного

строительного рынка предъявляют жесткие требования к технике, в частности к смесительному оборудованию. Одним из перспективных путей развития смесителей является применение вибрации, обеспечивающей по-

вышение интенсивности рабочего процесса смешивания, в особенности, на стадии диффузионного смешивания [1 – 10]. В то же время, имеется ряд проблем, препятствующих внедрению вибрационных смесителей: сложность применения существующих моделей поведения бетонных смесей при наложении вибрации для решения прикладных конструкторских задач, разрушающее воздействие вибрации на конструктивные элементы смесителя, высокие энергетические затраты на осуществление вибрационной обработки бетонной смеси, неэффективные режимы вибрирования [10].

**Устройство.** Предлагаемый [11] роторно-вибрационный смеситель (рис. 1) со сдвоенным трехчастотным вибратором эллиптического типа содержит камеру 1 смешивания с окнами загрузки 2 и выгрузки 3 материалов и ротор 4 с приводом 5 вращения, выполненный с лопастями 6, 7, 8. В нижней и верхней частях камеры 1 смешивания по центру жестко закреплены два, нижний 9 (рис. 2) и верхний 10 (рис. 3), вибратора, выполненные в корпусах 11, 12, с возбуждением трех одинаковых по амплитуде и различных по частоте вибрационных полей посредством нижнего 13, среднего 14 и верхнего 15 кривошипно-шатунных механизмов. Корпуса 11, 12 вибраторов 9, 10 выполнены в виде металлических гофрированных оболочек, представляющих собой гофрированные тонкостенные тела вращения, образующие в сечении вертикальной плоскости по точкам вершин гофр усеченные эллипсы, и могут создавать разнонаправленные колебания.

При этом внутри металлической гофрированной оболочки нижнего 9 вибратора, выполненного с функцией возбуждения двух одинаковых по амплитуде и различных по частоте вибрационных полей посредством нижнего 13 и среднего 14 кривошипно-шатунных механизмов, по центру в горизонтальной плоскости жестко закреплен диск 16 с цилиндрическим выступом 17, выполненный с возможностью вставки и закрепления по внутреннему диаметру пружины 18, установленной с функцией свободного сжатия/разжатия в стакане 19, в центре верхней внутренней части которого жестко закреплен шатун 20 с приводом от среднего 14 кривошипно-шатунного механизма, а в центре верхней внешней части – толкатель 21, жестко закрепленный другим концом к внутренней верхней части металлической гофрированной оболочки корпуса 11 нижнего 9 вибратора и выполненный с функцией возбуждения колебаний от верхней части корпуса 11 нижнего 9 вибратора через шатун 20 посредством среднего 14 кривошипно-шатунного механизма.

Диск 16 нижнего 9 вибратора, функцией которого является создание равномерного распределения по всему объему камеры 1 смешивания вибрационного поля от верхней к нижней части корпуса 11 нижнего 9 вибратора посредством создания однородных амплитудных значений перемещений каждой точки внешней образующей металлической гофрированной оболочки, выполнен с возможностью возбуждения колебаний центральной части корпуса 11 нижнего 9 вибратора с помощью четырех толкателей 22, верхней частью симметрично закрепленных в нижней части диска 16, а нижней частью соединенных в узел подвижного шарнира 23 шатуна 24 нижнего 13 кривошипно-шатунного механизма.

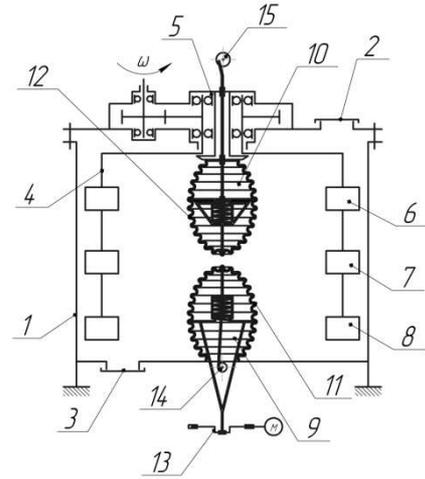


Рис. 1. Схема роторно-вибрационного смесителя со сдвоенным трехчастотным вибратором эллиптического типа

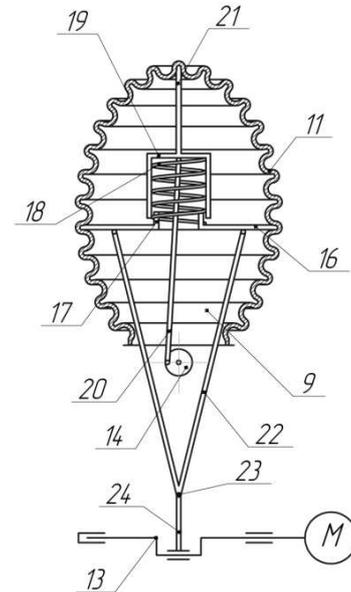


Рис. 2. Схема нижнего вибратора

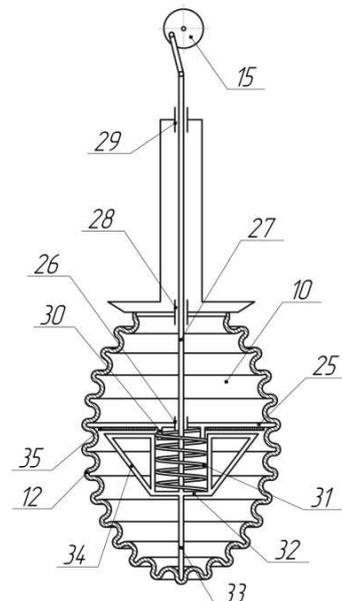


Рис. 3. Схема верхнего вибратора

При этом внутри металлической гофрированной оболочки верхнего 10 вибратора по центру в горизонтальной плоскости жестко закреплен диск 25 с направляющей стойкой 26, функцией которой является создание устойчивого направленного поступательного движения штока 27 от поступательной пары, образованной направляющей стойкой 28 верхней части камеры 1 смешивания, направляющей стойкой 29 привода 5 вращения лопастей 6, 7, 8 и штоком 27 верхнего 10 вибратора, верхнего 15 кривошипно-шатунного механизма, и цилиндрическим выступом 30, выполненным с возможностью вставки и закрепления по внутреннему диаметру пружины 31, установленной с функцией свободного сжатия/разжатия в стакане 32, в центре внутренней части которого жестко закреплен шток 27, а в центре внешней части – толкатель 33, жестко прикрепленный другим концом к внутренней части, образующей наименьшую из гофр, металлической гофрированной оболочки верхнего 10 вибратора и выполненный с функцией возбуждения колебаний от наименьшей из гофр корпуса 12 верхнего 10 вибратора.

По внешней цилиндрической части стакана 32 симметрично закреплены четыре выступа 34, функцией которых является передача возвратно-поступательного движения на диск 25 верхнего 10 вибратора, выполненный с возможностью однородного распределения вибрационного поля от наименьшей из гофр верхней металлической гофрированной оболочки к месту закрепления корпуса 12 верхнего 10 вибратора посредством создания однородных амплитудных значений перемещений каждой точки внешней образующей верхней металлической гофрированной оболочки в момент сжатия пружины 31 до упора в резиновые прокладки 35, выполненные с функцией смягчения соударения выступов 34 с диском 25 верхнего 10 вибратора.

**Принцип действия.** Смеситель работает следующим образом. Вначале составляющие бетонной смеси, состав которой подбирается предварительно, через окно загрузки 2 полойно загружаются в камеру смешивания 1 в следующей последовательности: на дно смесителя укладывается песок, затем цемент, после чего щебень, в последнюю очередь равномерно на всю загрузку подается необходимое количество воды. Затем включаются приводы вибраторов 9, 10 и привод 5 вращения ротора 4 с лопастями 6, 7, 8. Привод 5 вращает ротор 4 и лопасти 6, 7, 8, тем самым перемешивая приготавливаемую смесь.

Толкатель 21 через стакан 19 пружины 18 и шатун 20 посредством среднего кривошипно-шатунного механизма 14 совершает возвратно-поступательные движения, тем самым возбуждая колебания верхней части корпуса 11 нижнего 9 вибратора. При этом диск 16 нижнего 9 вибратора возбуждает колебания центральной части корпуса 11 с помощью четырех толкателей 22, верхней частью симметрично закрепленных в нижней части диска 16 нижнего 9 вибратора, а нижней частью соединенных в узел подвижного шарнира 23 шатуна 24 нижнего 13 кривошипно-шатунного механизма. Причем, толкатель 33 через стакан 32 пружины 31 и шток 27 посредством верхнего 15 кривошипно-шатунного механизма совершает возвратно-поступательные движения, тем самым возбуждая коле-

бания части корпуса 12, образующей наименьшую из гофр металлической гофрированной оболочки верхнего 10 вибратора.

При этом в момент сжатия пружины 31 до упора в резиновые прокладки 35 диска 25 верхнего 10 вибратора выступы 34 передают возвратно-поступательное движение на диск 25, который тем самым дополнительно возбуждает колебания средней части корпуса 12 и создает однородное распределение амплитудных значений перемещений каждой точки внешней образующей металлической гофрированной оболочки верхнего 10 вибратора. По истечению заданного времени привод 5 ротора 4 и приводы кривошипно-шатунных механизмов 13, 14, 15 отключаются, и готовая бетонная смесь через окно 3 корпуса 1 смесителя выгружается.

#### **Заключение**

В целом устройство обеспечивает возможность создания по всему объему камеры смесителя вибрационного воздействия с разнонаправленными колебаниями, полностью исключая наличие «глухих» зон, трех одинаковых по амплитуде, различных по частоте и равномерно распределенных по всему объему камеры смешивания вибрационных полей с одновременной качественной интенсификацией процесса перемешивания компонентов.

Это объясняется тем, что, во-первых, корпуса вибраторов, выполненные в виде металлических эллиптических гофрированных оболочек, представляющих собой гофрированные тонкостенные тела вращения, образующие в сечении вертикальной плоскости по точкам вершин гофр усеченные эллипсы и выполненные с возможностью создавать разнонаправленные колебания, позволяют, с одной стороны, реализовать возможность создания по всему объему камеры смесителя на смешиваемые компоненты бетонной смеси вибрационного воздействия, полностью исключая наличие в камере смешивания «глухих» зон, а с другой – исключить вибрационное воздействие на приводы вибраторов, максимально реализовать защиту подшипниковых узлов привода вибратора от попадания в них мелких частиц перемешиваемых материалов, а так же реализовать возможность полной передачи «полезного» вибрационного воздействия на обрабатываемый материал.

Во-вторых, реализация в конструкции смесителя двух вибраторов, включающих в себя дисковые конструкционные элементы средних частей вибраторов и толкатели, выполненные с возможностью возбуждения колебаний корпусов вибраторов от наименьшей из гофр, обеспечивает создание однородных амплитудных значений перемещений каждой точки внешней образующей металлических гофрированных оболочек и тем самым позволяет осуществить однородное распределение вибрационного поля в камере смешивания, позволяет реализовать качественную интенсификацию процесса перемешивания компонентов смеси при много-частотном вибрировании, заключающемся в одновременном воздействии на бетонную смесь колебаний двух и более частот и позволяющем при наложении друг на друга кривых колебаний увеличивать скорость движения частиц смеси, что в свою очередь повышает эффективность вибрации.

Многочастотное вибрирование, исходя из того, что каждой величине зерна соответствует собственная частота колебаний, может рассматриваться как средство воздействия на наибольшее количество зерен, т. е. интенсивность многочастотного вибрирования выше, чем интенсивность каждого из составляющих его колебаний, что позволяет сократить цикл перемешивания бетонных смесей.

И, в-третьих, конструкция смесителя позволяет реализовать повышение производительности, снижение затрат энергии на процесс смешивания, повышение подвижности и турбулизации смеси, обусловленные однородным тиксотропным разрушением структуры материала во всем пространстве камеры смешивания, проявляющимся в уменьшении удельного сопротивления движению лопасти в бетонной смеси по сравнению с удельным сопротивлением движению лопасти неразрушенного материала.

В связи с этим уменьшаются сопротивление перемещению лопастей и потребляемая мощность привода вращения ротора. Вместе с тем, достигаются эффект виброкипения смеси под действием колебательных процессов корпуса вибратора, большая турбулизация и более интенсивная циркуляция частиц смеси, в результате чего сокращается время смешивания и повышается производительность смесителя [11].

### 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. Лобанов Д.В., Ефремов И.М. Моделирование процесса виброперемешивания бетонных смесей в смесителе с вибратором сильфонного типа // Вестн. машиностроения. 2012. № 1. С. 21-25.

6. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Исследование процесса перемешивания в роторно-вибрационном смесителе // Механизация строительства. 2012. № 7. С. 40-43.
7. Ефремов И.М., Лобанов Д.В. Новый экспериментальный роторно-вибрационный смеситель // Строительные и дорожные машины. 2011. № 9. С. 16-19.
8. Малахов К.В., Лобанов Д.В. Вибрационный смеситель гравитационного типа // Строительные и дорожные машины. 2013. № 7. С. 33-36.
9. Лобанов Д.В. Совершенствование конструкции агрегата и процесса вибрационного перемешивания бетонной смеси: автореф. дис. канд. техн. наук. Братск, 2012. 19 с.
10. Фигура К.Н. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы смесительных агрегатов с внутренними виброактиваторами: автореф. дис. канд. техн. наук. Братск, 2013. 23 с.
11. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Лиханов А.А., Ивасиив Д.М. Вибрационный смеситель: пат. 2494795 Рос. Федерация. № 2012108507/05; заявл. 06.03.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28. 13 с.

### References

1. Efremov I.M., Lobanov D.V. New rotary mixers with various vibroexcitation systems // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008. № 9. S. 7-9.
2. Efremov I.M., Lobanov D.V. Vibratory concrete mixers: 70 years of existence // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2009. №10. S. 15-19.
3. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N. Contemporary technologies of concrete mixing intensification // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. № 1. S. 37-41.
4. Efremov I.M., Lobanov D.V., Figura K.N. Mechanical activation of a concrete mix while intensifying mixing processes // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2011. № 2. S. 6-8.
5. Lobanov D.V., Efremov I.M. Simulation of vibratory mixing process of concrete mixtures in a mixer with bellows-sealed type vibrator // Vestnik mashinostroeniya. 2012. №1. S. 21-25.
6. Efremov I.M., Lobanov D.V. Research into the process of mixing in the rotary-vibration mixer // Mechanizatsiya v stroitel'stve. 2012. №7. S. 40-43.
7. Efremov I.M., Lobanov D.V. A new type rotor vibration mixer // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. № 9. S. 16.
8. Malakhov K.V., Lobanov D.V. Gravity-type vibration mixer // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2013. №7. P. 33-36.
9. 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.
10. Figura K.N. Substantiation of the design parameters and operation modes of the mixing units with internal vibro-activators: avtoref. ... dis. kand. tekhn. nauk. Bratsk. 2013. 23 p.
11. Efremov I.M., Lobanov D.V., Likhanov A.A., Ivasiiv D.M. Vibration mixer: pat. 2494795 Rus. Federatsiya. № 2012108507/05; zavavl. 06.03.2012; opubl., Bul. № 28. 13 s.