

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-99-108

Ханин С.И., Кикин Н.О., Мордовская О.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: sergiykhani@gmail.com*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ

Аннотация. Лопастные смесители с горизонтальным расположением валов распространены на предприятиях строительных материалов для приготовления бетонов, растворов, сухих строительных смесей. Рассмотрена новая конструкция горизонтального лопастного смесителя с расположенными перед рабочими поверхностями лопастей стержневыми элементами, изменяющими траектории движения частиц материала, увеличивающими их подвижность, что приводит к повышению степени однородности смешиваемого материала. Целью исследования являлись оценка влияния стержневых элементов на качество подготовки цементно-песчаной смеси, установление закономерностей влияния на него конструктивно-технологических параметров смесителя и определение областей их рациональных значений. Решены следующие задачи. Разработана стендовая установка двухвального горизонтального лопастного смесителя со стержневыми элементами, на которой проведены экспериментальные исследования по подготовке сухих цементно-песчаных смесей. За характеризующий качество смеси критерий принят предел прочности на сжатие изготовленных из нее образцов-призм. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие предел прочности на сжатие образцов-призм от конструктивно-технологических параметров смесителя. Проведен анализ изменения предела прочности на сжатие образцов-призм от исследуемых параметров, определены рациональные области их значений. Установлено, что смеситель со стержневыми элементами позволяет получить сухую цементно-песчаную смесь, изделия из которой обладают более высокой прочностью на сжатие. В ходе работы применялся метод математического планирования экспериментов. В результате исследования выполнена оценка влияния стержневых элементов на качество подготовки цементно-песчаной смеси, установлены закономерности влияния на него конструктивно-технологических параметров двухвального лопастного смесителя и области их рациональных значений.

Ключевые слова: изделие, прочность на сжатие, лопастной двухвальный смеситель, стендовая установка, стержневые элементы, конструктивно-технологические параметры.

Введение. Прочность на сжатие является одной из основных качественных характеристик изделий, приготовленных из бетонов и растворов. В производстве строительных материалов существуют различные способы увеличения прочностных характеристик таких изделий. К ним относится использование армирующих элементов, как классического типа в виде стальной арматуры, так и изготовленных из различных органических и неорганических материалов [1–4]. Причем тип арматуры и схема ее размещения имеют важное значение. Важную роль имеют специальные виды добавок в бетонную смесь. Многие исследователи обращают внимание на соблюдение строгих условий затворения водой компонентов смеси и набора прочности бетона [5, 6]. Одним из эффективных способов улучшения качественных свойств бетонной смеси, влияющих на прочностные характеристики затвердевшего бетона, является повышение степени однородности распределения в ней компонентов [7–9].

Для приготовления бетонов, растворов, сухих строительных смесей применяются различные виды смесительного оборудования. К наиболее распространенным на промышленных предприятиях следует отнести гравитационные бетоносмесители, лопастные смесители как с вертикальным, так и горизонтальным расположением валов. Каждый из них имеет свои особенности применения, преимущества и недостатки.

Лопастные смесители с горизонтальным расположением валов выполняются как одновальными, так и двухвальными. Их конструктивное исполнение предполагает возможность приготовления бетонов, растворов, сухих строительных смесей в непрерывном либо циклическом режимах работы. Эти смесители имеют достаточно высокую производительность, простоту конструкции и эксплуатации [10–12]. Так, двухвальный смеситель периодического действия БП-2Г-2250 фирмы «ЗЗБО» из города Златоуст (Челябинская область) при производительности $70 \text{ м}^3/\text{ч}$, установочной мощности приводов 2×30

кВт обеспечивает подготовку смесей с коэффициентом неоднородности 4,5–3,5 % [13].

Особенностью процесса гомогенизации компонентов в промышленных лопастных смесителях является образование перед перемещающимися в смеси лопастями уплотненных зон, в которых частицы материала движутся со скоростями, значительно меньшими, чем на границах этих зон [14, 15], что приводит к снижению качества приготовленной смеси. Это свидетельствует о целесообразности поиска технического решения, позволяющего изменять траектории движения частиц, увеличить их подвижность в прилегающей к перемещающейся лопасти уплотненной зоне материала.

С этой целью авторами предложена конструкция горизонтального лопастного смесителя с расположенными перед рабочими поверхностями лопастей стержневыми элементами [16]. Стержневые элементы по отношению к лопастям

неподвижны и расположены с промежутками по отношению к ним. Стержневые элементы, при совместном вращательном движении с лопастями, воздействуя на расположенные перед лопастями частицы материала, изменяют траектории их движения, увеличивают подвижность. Это приводит к повышению степени однородности смешиваемого материала.

Методология. Для оценки влияния стержневых элементов на качество подготовки смеси, установления закономерностей влияния на него конструктивно-технологических параметров смесителя и определения областей их рациональных значений была разработана конструкция стендовой установки двухвального лопастного смесителя (рис. 1, 2, 3). Конструкция смесителя предусматривает возможность его эксплуатации как в непрерывном, так и циклическом режимах. При разработке смесителя учитывались рекомендации, рассмотренные в работах [18–20].

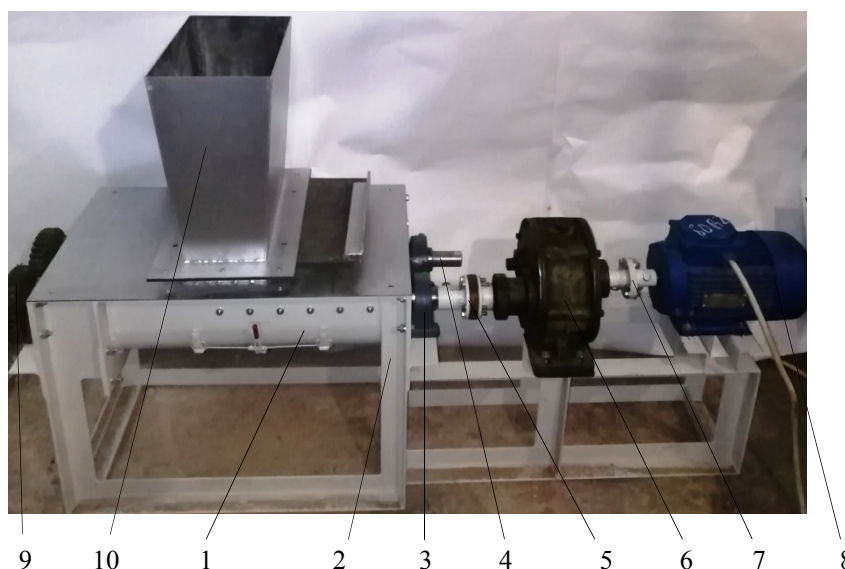


Рис. 1. Стендовая установка лопастного двухвального смесителя со стержневыми элементами: 1 – корпус, 2 – рама, 3 – опорный подшипник, 4 – лопастной вал, 5 – муфта, 6 – редуктор, 7 – муфта, 8 – электродвигатель, 9 – зубчатая синхронизирующая пара, 10 – загрузочное устройство

Объем корпуса смесителя составляет $2 \cdot 10^{-3}$ м³, длина – 0,5 м, диаметр окружности, описываемый лопастями, – 0,079 м. Привод двухвального смесителя состоит из асинхронного электродвигателя АИР180S2, соединительных муфт и цилиндрического соосного редуктора ($u=48$). Установочная мощность электродвигателя $P_{ном}=2,2$ кВт дает возможность эксплуатации смесителя на различных режимах. Управление работой электродвигателя осуществлялось частотным регулятором Delta VFD-E и обеспечивало необходимую частоту вращения лопастных валов в пределах $0,66 \dots 1,34$ с⁻¹.

Сравнительный эксперимент проводился для двух вариантов исполнения экспериментальной стендовой установки смесителя. Первый вариант стендовой установки, рассматриваемой в качестве аналога, представлял собой классический вариант двухвального лопастного смесителя без установленных стержневых элементов. Он представляет собой масштабированную копию широко применяемых в промышленных условиях смесителей. Второй вариант исполнения стендовой установки смесителя дополнялся стержневыми элементами цилиндрической формы, установленными перед рабочей поверхностью лопасти.

В смесителе согласно СП82-101-98 осуществлялась подготовка сухой цементно-песчаной смеси (ЦПС) для приготовления растворов штукатурных. В соответствии с требованиями минимальная прочность на сжатие образцов-призм, приготовленных из выбранной для эксперимента сухой строительной смеси, должна быть

не менее 15 МПа. В качестве исходных компонентов использовались портландцемент ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016 и кварцевый песок ГОСТ 8736-2014 крупностью 0,315...0,8 мм. Соотношение песка к цементу составляло 4:1.

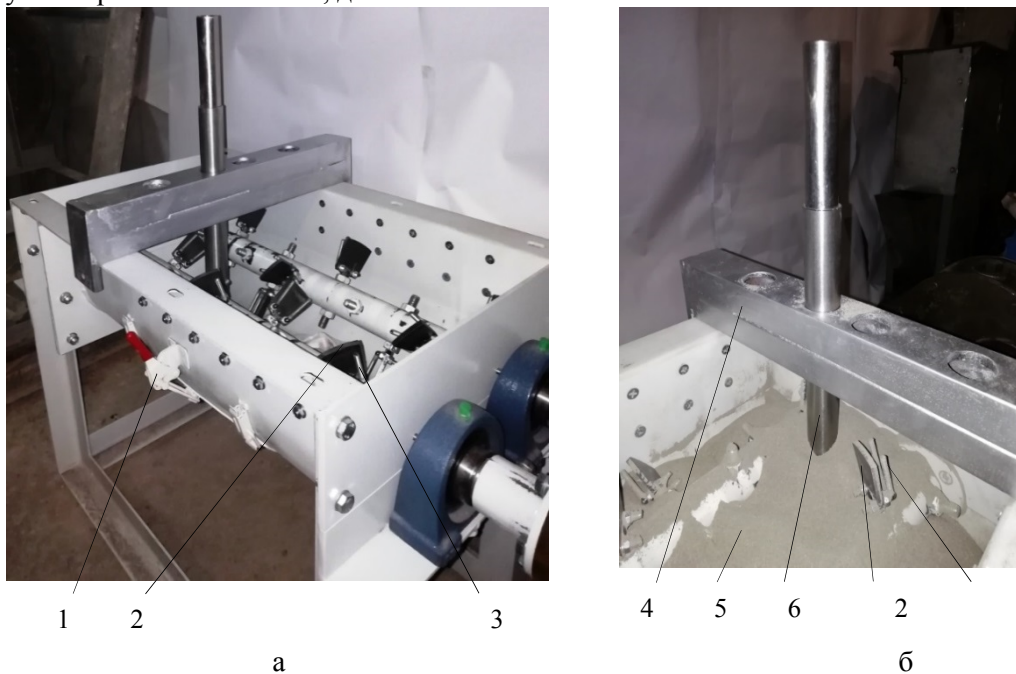


Рис. 2. Фрагменты смесителя: *а* – перед проведением эксперимента, *б* – при проведении эксперимента:
 1 – разгрузочное устройство, 2 – лопасти, 3 – стержневые элементы, 4 – кондуктор для отбора проб, 5 – смешиваемый материал, 6 – пробоотборник

Использование кондуктора для отбора проб (рис. 2) позволяет отбирать точечные пробы смеси, не нарушая структуру смесеобразования в объеме смесителя.

Монтаж лопастей под углом, задаваемым относительно плоскости вращения, обеспечивался кондуктором для установки положения лопастей

(рис. 3). Конструктивное исполнение стержневых элементов и лопастей предусматривает возможность регулирования расстояния между ними и их параллельного размещения. Пробы смеси отбирались в строго определенных местах по схеме, приведенной на рис. 4.

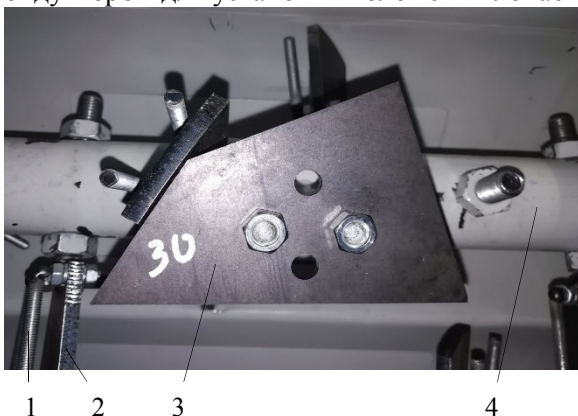


Рис. 3. Лопастной вал с кондуктором для установки положения лопастей:
 1 – стержневой элемент, 2 – лопасть, 3 – кондуктор для контроля положения лопастей, 4 – лопастной вал

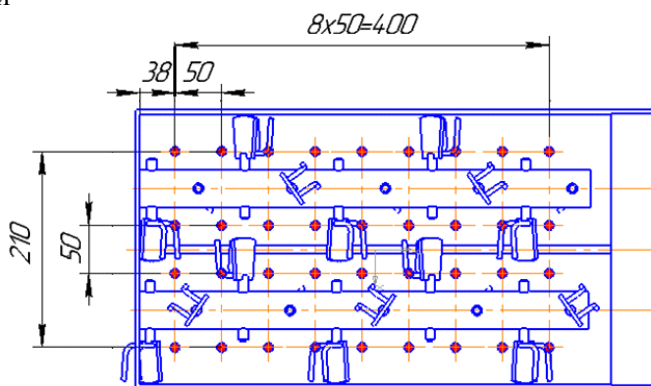


Рис. 4. Схема отбора проб смеси

Подготовка смесей осуществлялась в циклическом режиме по ПФЭ ЦКРП 2³. Применение рототабельного плана эксперимента, по сравнению с ортогональным, позволяет получить более точное математическое описание поверхности отклика, что достигается благодаря увеличению числа опытов в центре плана и специальному выбору величины звездного плеча [17]. В качестве исследуемой функции рассматривался предел прочности на сжатие половинок образцов-призм (размерами 40×40×160 мм), приготовленных из полученной сухой цементно-песчаной смеси в строгом соответствии с ГОСТ Р 58277-2018. В соответствии с требованиями приготовления образцов-призм выполнялось в формах ЗФБ-40 с их выдерживанием в камерах нормального твердения (при температуре (20±2) °С и относительной влажности воздуха (95±10) %). Твердение осуществлялось в течение 28 суток. После набора прочности балочки были подвергнуты испытаниям на гидравлическом прессе ПГМ-100 МГ4 с наибольшим пределом нагружений 100 кН и допускаемой относительной погрешностью ±1 % в

используемом диапазоне нагружений. Испытания по определению прочности на сжатие проводились при температуре (20±2) °С и относительной влажности воздуха (60±10) % в соответствии с ГОСТ Р 58277-2018.

По мнению авторов [18] частота вращения лопастных валов и угол установки лопастей относительно плоскости вращения оказывают наибольшее влияние на качество приготовления смеси в лопастных смесителях с горизонтальным расположением валов. С целью установления условий осуществления экспериментов на экспериментальной стендовой установке смесителя, при первом и втором вариантах ее исполнения, были проведены поисковые эксперименты, в результате которых были установлены исследуемые факторы и области их варьирования, количество повторных опытов. В качестве варьируемых факторов приняты частота вращения лопастных валов, n , расстояние от рабочей поверхности лопасти до стержня, c , угол установки лопасти относительно плоскости вращения, α (табл. 1).

Таблица 1

Исследуемые факторы и уровни варьирования

Факторы	Обозначение, ед. измерений		Интервал	Уровни варьирования факторов				
	Кодированный вид	Натуральный вид		-1,680	-1	0	+1	+1,680
Частота вращения лопастных валов	X_1	n, c^{-1}	0,2	0,66	0,8	1	1,2	1,34
Угол установки лопастей относительно плоскости вращения	X_3	α , град	3,57	19,92	24	30	36	40,08
Расстояние от рабочей поверхности лопасти до стержневых элементов	X_2	c , мм	6	0	2,43	6	9,57	12

Производители промышленных смесителей с горизонтальным расположением валов, характеризуя на сайтах компаний оборудование, указывают время приготовления смесей от одной до нескольких минут. Необходимое для перехода смеси в качественное состояние время, при рациональных конструктивно-технологических параметрах смесителя, зависит от его типоразмера, количества, соотношения и характеристик смешиваемых компонентов. В этой связи на экспериментальной стендовой установке смесителя, при первом и втором вариантах ее исполнения, были проведены поисковые эксперименты, в результате которых было установлено, что при возможных сочетаниях исследуемых факторов технологический процесс гомогенизации смеси через 5 минут гарантированно переходит в установившееся состояние.

Предел прочности на сжатие определялся в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 58277-2018:

$$R_{сж} = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, вызывающая разрушение образца, Н; S – площадь рабочей поверхности пластины, на которую действует нагрузка, $S = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

В результате компьютерной обработки экспериментальных данных получены математические выражения в виде уравнений регрессии, описывающие зависимость прочности на сжатие полученных образцов от исследуемых факторов. В результате проверки подтверждены воспроизводимость параллельных опытов и адекватность уравнения регрессии. Из полученных уравнений исключены малозначимые коэффициенты.

В кодированной форме уравнение имеет вид:

$$\sigma_{сж} = 24,874 - 0,831 \cdot X_1 + 0,218 \cdot X_2 + 0,375 \cdot X_3 - 0,857 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,236 \cdot X_2 \cdot X_3 - 3,438X_1^2 - 2,22 \cdot X_2^2 - 0,712 \cdot X_3^2 \quad (2)$$

В натуральной форме уравнение имеет вид:

$$\sigma_{сж} = -88,45 + 174,95 \cdot n + 3,02 \cdot c + 1,18 \cdot \alpha - 1,2 \cdot n \cdot c + 0,01 \cdot c \cdot \alpha - 85,95 \cdot n^2 - 0,174 \cdot c^2 - 0,02 \cdot \alpha^2 \quad (3)$$

Основная часть. С помощью программной среды *Maple* были выполнены исследования уравнения (2), (3) и получены графические зависимости. В рассматриваемой области функция является непрерывной. Определены экстремумы функциональной зависимости. Наименьшее значение $\sigma_{сж} = 1,87$ МПа функция принимает при $\alpha = 20^\circ$, $c = 12$ мм, $n = 1,34$ с⁻¹. Наибольшего значения $\sigma_{сж} = 25$ МПа функция достигает при $\alpha = 32^\circ$, $c = 6,3$ мм, $n = 0,97$ с⁻¹. Разница между

этимися величинами составляет 92,52 %. В рассматриваемых исследованиях повышение прочности образцов обуславливается более однородным распределением компонентов смеси, поэтому ее можно характеризовать как более качественно приготовленную.

Графические зависимости предела прочности на сжатие образцов от частоты вращения лопастных валов, угла установки лопасти и расстояния от рабочих поверхностей лопастей до стержневых элементов приведены на рис. 5.

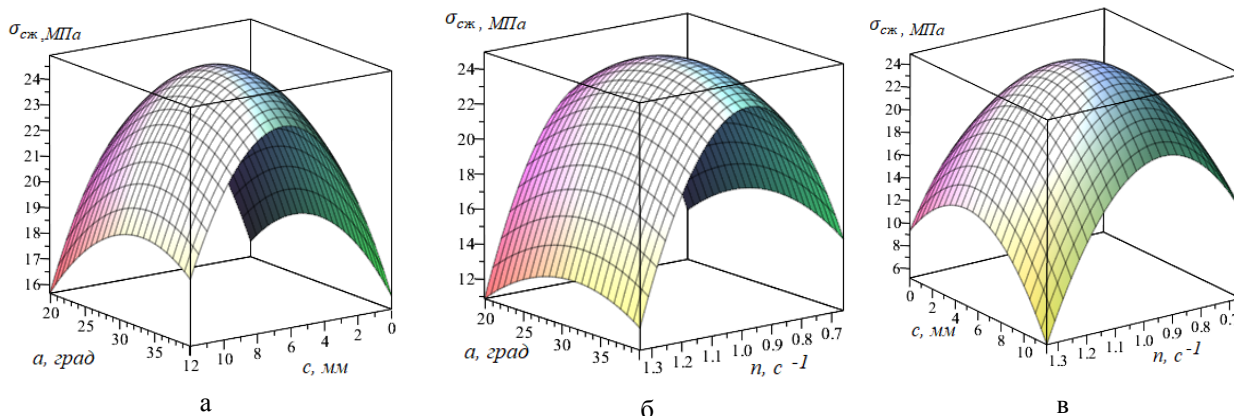


Рис. 5. Зависимость предела прочности на сжатие образцов $\sigma_{сж}$ от:

а – расстояния c от рабочих поверхностей лопастей до стержневых элементов и угла установки лопастей α при $n = 1$ с⁻¹; б – частоты вращения лопастных валов n и угла установки лопастей α при $c = 6$ мм; в – расстояния c от рабочих поверхностей лопастей до стержневых элементов и частоты вращения лопастных валов n при $\alpha = 30^\circ$

Изменения $\sigma_{сж}$ на рассматриваемых диапазонах исследуемых факторов имеют выраженный нелинейный характер. Максимальные значения $\sigma_{сж}$ достигаются при значениях факторов, находящихся в центральной области факторного пространства.

Увеличение α от минимальной величины на первом этапе приводит к росту значений $\sigma_{сж}$ и последующему их снижению на втором этапе (рис.5, а, б). Так, при минимальных значениях n и c ($n_1 = 0,66$ с⁻¹, $c_1 = 0$ мм) и $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_3 = 40^\circ$ пределы прочности образцов на сжатие принимают соответственно значения $\sigma_{сж11} = 5,32$ МПа, $\sigma_{сж12} = 7,62$ МПа, $\sigma_{сж13} = 5,25$ МПа. Значения функции изменяются на 31,1 %. При n и c соответствующих центру плана ($c_2 = 6$ мм, $n_2 = 1$ с⁻¹) и рассматриваемых значениях α – $\sigma_{сж14} = 22,27$ МПа, $\sigma_{сж15} = 24,87$ МПа, $\sigma_{сж16} = 23,52$ МПа, соответственно. Изменение $\sigma_{сж}$ составляет 10,45 %. При максимальных значениях n и c ($n_3 = 1,34$ с⁻¹, $c_1 = 12$ мм) и тех же α – $\sigma_{сж17} = 1,91$ МПа, $\sigma_{сж18} = 5,17$

МПа, $\sigma_{сж19} = 4,48$ МПа, соответственно. Значения функции изменяются на 63,06 %.

Увеличение c от минимальной величины сначала приводит к росту значений $\sigma_{сж}$, а затем к их последующему снижению (рис. 5, а, в). При минимальных значениях n и α ($n_1 = 0,66$ с⁻¹, $\alpha_1 = 20^\circ$) и $c_1 = 0$ мм, $c_2 = 6$ мм, $c_3 = 12$ мм пределы прочности образцов на сжатие принимают соответственно значения $\sigma_{сж21} = 5,32$ МПа, $\sigma_{сж22} = 13,75$ МПа, $\sigma_{сж23} = 9,63$ МПа. Значения функции изменяются на 61,3%. При n и α соответствующих центру плана ($n_2 = 1$ с⁻¹, $\alpha_2 = 30^\circ$) и рассматриваемых значениях c – $\sigma_{сж24} = 18,24$ МПа, $\sigma_{сж25} = 24,87$ МПа, $\sigma_{сж26} = 18,97$ МПа, соответственно. Изменение $\sigma_{сж}$ составляет 26,66 %. При максимальных значениях n и c ($n_3 = 1,34$ с⁻¹, $\alpha_3 = 40^\circ$) и тех же α значения функции соответственно составляют $\sigma_{сж27} = 7,32$ МПа, $\sigma_{сж28} = 12,17$ МПа, $\sigma_{сж29} = 4,48$ МПа. Изменение $\sigma_{сж}$ составляет 63,19 %.

Увеличение n от минимальной величины приводит к росту значений $\sigma_{сж}$ с последующим их

снижением (рис.5, б, в). Так, при минимальных значениях α и c ($\alpha_1 = 20^\circ$, $c_1 = 0$ мм) и $n_1 = 0,66$ с⁻¹, $n_2 = 1$ с⁻¹, $n_3 = 1,66$ с⁻¹ пределы прочности образцов на сжатие принимают соответственно значения $\sigma_{сж31} = 5,32$ МПа, $\sigma_{сж32} = 16,30$ МПа, $\sigma_{сж33} = 7,40$ МПа. Значения функции изменяются на 67,36 %. При α и c соответствующих центру плана ($\alpha_2 = 30^\circ$, $c_2 = 6$ мм) и рассматриваемых значениях n_1 , n_2 и n_3 - $\sigma_{сж34} = 16,35$ МПа, $\sigma_{сж35} = 24,87$ МПа и $\sigma_{сж36} = 13,53$ МПа, соответственно. Изменение $\sigma_{сж}$ составляет 45,60 %. При максимальных значениях α и c ($\alpha_3 = 40^\circ$, $c_3 = 12$ мм) и тех же n_1 , n_2 и n_3 функция принимает значения $\sigma_{сж37} = 12,2$ МПа, $\sigma_{сж38} = 18,28$ МПа, $\sigma_{сж39} = 4,48$ МПа, соответственно. Значения функции изменяются на 75,49 %.

Следует выделить рациональные области исследуемых конструктивно-технологических параметров: угла установки лопастей $\alpha = 30 \dots 35^\circ$, расстояния от рабочих поверхностей лопастей до

стержневых элементов $c = 5 \dots 6$ мм и частоты вращения лопастных валов $n_1 = 0,9 \dots 1,1$ с⁻¹.

Для определения сравнительной эффективности применения разработанной конструкции смесителя рассмотренная стендовая установка была выполнена по первому варианту исполнения – без стержневых элементов. В этом исполнении она конструктивно соответствовала промышленно применяемым смесителям и рассматривалась как аналог для сравнения с разработанной авторами конструкцией [18]. В ней осуществлялась подготовка цементно-песчаной смеси указанного состава. Угол установки лопастей составлял $\alpha = 30^\circ$, частота вращения лопастных валов изменялась: $n = 0,66; 0,8; 1; 1,2; 1,34$ с⁻¹. Зависимости предела прочности на сжатие половинок образцов-призм из смесей, приготовленных в смесителе со стержневыми элементами (при $c = 6$ мм) и без них, значения этих параметров приведены на рис. 6. и в табл. 2.

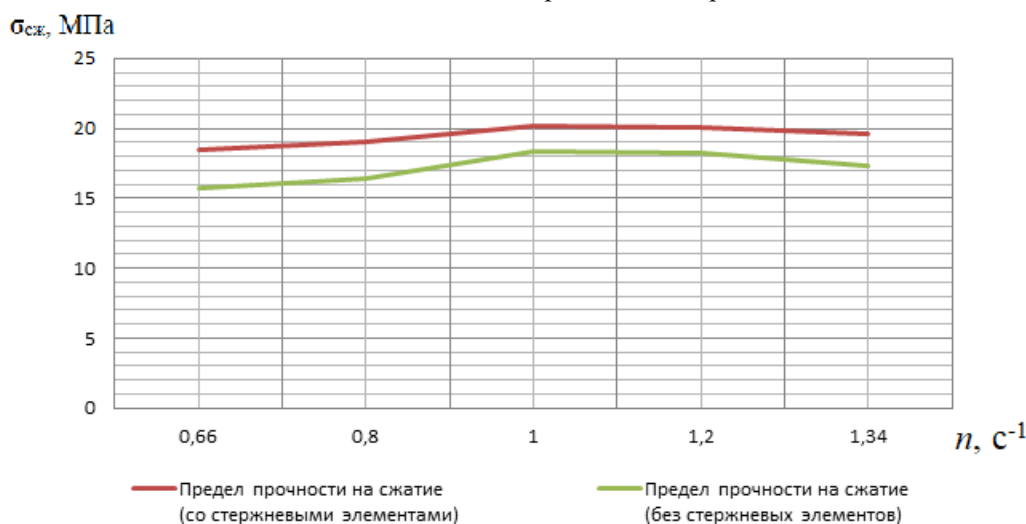


Рис. 6. Изменение предела прочности на сжатие половинок образцов-призм из смесей, приготовленных в смесителе со стержневыми элементами и без стержневых элементов

Таблица 2

Значения предела прочности на сжатие половинок образцов-призм приготовленных из смесей

N п/п	Частота вращения лопастных валов, с ⁻¹	Значение предела прочности, $\sigma_{сж}$, МПа	
		Смеситель со стержневыми элементами	Смеситель без стержневых элементов
1	0,66	18,52	15,75
2	0,8	19,08	16,39
3	1	20,18	18,36
4	1,2	20,04	18,24
5	1,34	19,56	17,34

Из полученных данных следует, что смеситель со стержневыми элементами позволяет получить смесь, изделия из которой обладают более высокими прочностными свойствами. При указанных конструктивно-технологических параметрах предел прочности на сжатие изделий из смесей, приготовленных в смесителе со стержне-

выми элементами, на 8...9 % превышает этот показатель для изделий из смесей, приготовленных в смесителе без стержневых элементов.

Выводы.

1. Показана целесообразность поиска технических решений, позволяющих повысить в горизонтальном лопастном смесителе степень однородности смешиваемого материала.

2. Предложена патентно-защищенная конструкция горизонтального лопастного смесителя с расположенными перед рабочими поверхностями лопастей стержневыми элементами, изменяющими траектории движения частиц материала, увеличивающими их подвижность, что приводит к повышению степени однородности смешиваемого материала.

3. Приведено описание разработанных для проведения экспериментальных исследований стендовой установки двухвального горизонтального лопастного смесителя со стержневыми элементами и приспособлений.

4. По методу математического планирования экспериментов, с использованием плана ЦКРП-2³, проведены исследования влияния на качество подготовки сухой цементно-песчаной смеси конструктивно-технологических параметров смесителя: частоты вращения лопастных валов n ($n = 0,66 \dots 1,34 \text{ с}^{-1}$), расстояния от рабочей поверхности лопасти до стержня c ($c = 0 \dots 12 \text{ мм}$), угла установки лопасти относительно плоскости вращения α ($\alpha = 20 \dots 40^\circ$). В качестве исследуемой функции рассмотрен предел прочности на сжатие половинок образцов-призм размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, приготовленных из смеси.

5. В программной среде *Maple* выполнено исследование полученных уравнений регрессии, построены графические зависимости, характеризующие изменение предела прочности на сжатие половинок образцов-призм от исследуемых конструктивно-технологических параметров смесителя. Выполнен анализ изменения предела прочности на сжатие половинок образцов-призм в рассматриваемой области факторного пространства. Установлены рациональные области исследуемых конструктивно-технологических параметров: угла установки лопастей $\alpha = 30 \dots 35^\circ$, расстояния от рабочих поверхностей лопастей до стержневых элементов $c = 5 \dots 6 \text{ мм}$ и частоты вращения лопастных валов $n_1 = 0,9 \dots 1,1 \text{ с}^{-1}$.

6. Установлено, что смеситель со стержневыми элементами позволяет получить сухую цементно-песчаную смесь, изделия из которой обладают более высокими прочностными свойствами. Предел прочности изделий на сжатие из смесей, приготовленных в смесителе со стержневыми элементами, на 8...9 % превышает этот показатель для изделий из смесей, приготовленных в смесителе без стержневых элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Krishan A.L., Narkevich M.Yu., Sagadatov A.I., Rimshin V.I. The strength of short compressed concrete elements in a fiberglass shell //

Magazine of civil engineering. 2020. №2. Pp. 3–10. DOI: 10.18720/MCE.94.1

2. Saad M.M.G., Almsajdi S.A.A.S., Nankya H., Abdulwahed B. M. H. Steel and basalt fiber comparison in the flexural strength of conventional concrete // International journal of humanities and natural sciences. 2021. №2. Pp. 69–73. DOI:10.24412/2500-1000-2021-2-1-69-73

3. Гурьева В. А., Кудряков А. И., Белова Т. К. Совершенствование технологии приготовления цементного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами // Строительные материалы. 2017. №9. С. 54–57. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30115595> (дата обращения 12.08.2021)

4. Чикноворьян А. Г., Васкевич А. В., Осоян М. М., Пожалоистин В. С. Совершенствование технологии производства бетона для индустриального строительства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии-2019 / Под общ. ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара: Изд-во: СГТУ. 2019. С. 127–131. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41372610> (дата обращения 10.08.2021)

5. Мордич М.М. Технология и физико-механические свойства керамзитобетона для монолитного и сборного строительства // Наука и техника. 2019. Т. 18. №4. С. 292–302. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-292-302

6. Тошин Д.С., Ровенская Е.А. Влияние условий длительного твердения на прочность тяжелого бетона // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2020. №2. С.71–75. DOI: 10.25628/UNIIP.2020.45.2.012

7. Богомоллов А.А., Корнеев А.С. Влияние однородности асфальтобетонных смесей на прочность дорожных покрытий // Материалы Международной научно-технической конференции Интерстроймех-2010 / Под общ. ред. В.С. Богданова. Белгород: Изд-во: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. С. 39–42. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20113954> (дата обращения 12.08.2021)

8. Бутенко С.А., Залаяева Д.Р. Оценка качества и прочности бетона в условиях реального строительства // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. №4. С. 4–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.1

9. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. К вопросу производительности роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 178–182. DOI: 10.12737/24255

10. Bullard J.W. The Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory Consortium // Annual Report. 2001. Pp. 1–39. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/240239168_The_Virtual_Cement_and_Concrete_Testing_Laboratory_Consortium_Annual_Report_2001 (дата обращения 11.08.2021)
11. Hu J., Stroeven P. Shape Characterization of Concrete Aggregate // Image Anal Stereol. 2006. No. 25. P. 43–53. doi: 105566/ias.1400
12. Goncalves C., Margarido F. Materials for Construction and Civil Engineering. Springer International Publishing, 2015. 902 p. DOI 10.1007/978-3-319-08236-3
13. Кикин Н. О., Самойленко Д. Г., Болотникова Н. В., Котова Л. Н. Сравнительная характеристика двухвалных смесителей отечественного производства // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Выпуск XVIII. Белгород. 2019. С. 173–178. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44075476> (дата обращения 10.08.2021)
14. Дёмин О. В., Першин В. Ф., Смолин Д. О. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе // Химия и химическая технология. 2012. №8. С. 108–111. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (дата обращения 11.08.2021)
15. Першин В.Ф., Пасько А.А., Демин. Моделирование движения пластины в сыпучем материале. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2002. Т. 8. № 3. С. 444–449. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://vestnik.tstu.ru/rus/t_8/pdf/8_3_007.pdf (дата обращения 12.08.2021)
16. Пат. 192657, Российская Федерация, МПК В28С 5/14, В01F 7/04 Смеситель материалов / С.И. Ханин, Н.О. Кикин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №2019119931; заявл. 25.06.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 27. 6 с.
17. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. Ленинград: Изд-во «Химия», 1975. 48 с.
18. Севров К.П., Камчатков Л.П. Установки для приготовления асфальтобетонных и битумо-минеральных смесей. М: Изд-во Машиностроение, 1971. 105 с.
19. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
20. Гусев Ю.И., Карасев И.Н., Кальман-Иванов Э.Э., Макаров Ю.И., Макевнин М.П., Рассказов Н.И. Конструирование и расчет машин химических производств. М.: Машиностроение, 1985. 408 с.

Информация об авторах:

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мордовская Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: unique.ox@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кикин Николай Олегович, аспирант кафедры механического оборудования. E-mail: nikolaukikin@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 26.07.2021 г.

© Ханин С.И., Мордовская Ю.С., Кикин Н.О., 2021

**Khanin S.I., Kikin N.O., Mordovskaya O.S.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: sergiykhanin@gmail.com*

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE QUALITY OF PREPARATION OF DRY MIXTURES IN A HORIZONTAL VANE MIXER

Abstract. Paddle mixers with horizontal shafts are common at building materials enterprises for the preparation of concretes, mortars, dry mortars. A new design of a horizontal paddle mixer with rod elements located in front of the working surfaces of the blades, changing the trajectories of material particles, increasing

their mobility, which leads to an increase in the degree of homogeneity of the mixed material, is considered. The aim of the study was to assess the influence of rod elements on the quality of preparation of a cement-sand mixture, to establish patterns of influence on it by the design and technological parameters of a two-shaft paddle mixer and to determine the areas of their rational values. The following tasks have been solved. A bench installation of a two-shaft horizontal paddle mixer with rod elements has been developed, on which experimental studies have been carried out on the preparation of dry cement-sand mixtures. For the criterion characterizing the quality of the mixture, the ultimate compressive strength of the prism specimens made from it is adopted. Regression equations are obtained that adequately describe the compressive strength of prism samples from the design and technological parameters of the mixer: the angle of the blades, the distance from the working surfaces of the blades to the rod elements, the rotational speed of the blade shafts, and their analysis is performed. The analysis of the change in the ultimate compressive strength of the prism specimens from the parameters under study is carried out, the rational ranges of their values are determined. It was found that a mixer with rod elements allows to obtain a dry cement-sand mixture, products from which have a higher compressive strength. During the work, the method of mathematical planning of experiments was used. As a result of the study, an assessment of the influence of rod elements on the quality of preparation of a cement-sand mixture was carried out, the regularities of the influence on it of the design and technological parameters of a two-shaft paddle mixer and the area of their rational values were established.

Keywords: product, compressive strength, paddle twin-shaft mixer, bench installation, rod elements, design and technological parameters.

REFERENCES

1. Krishan A.L., Narkevich M. Yu., Sagadatov A.I., Rimshin V.I. The strength of short compressed concrete elements in a fiberglass shell. Magazine of civil engineering. 2020. No. 2. Pp. 3–10. DOI: 10.18720/MCE.94.1
2. Saad M.M.G., Almsajdi S.A.A.S., Nankya H., Abdulwahed B.M.H. Steel and basalt fiber comparison in the flexural strength of conventional concrete. International journal of humanities and natural sciences. 2021. No. 2. Pp. 69–73. DOI:10.24412/2500-1000-2021-2-1-69-73
3. Gurieva V.A., Kudyakov A.I., Belova T.K. Improvement of the technology of preparation of cement slurry with modified basalt microfibers [Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya tsementnogo rastvora s modifitsirovannymi bazal'tovymi mikrovoloknami]. Stroitelnye materialy. 2017. No. 9. Pp. 54–57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30115595> (date of treatment 12.08.2021) (rus)
4. Chiknovoryan A.G., Vaskevich A.V., Osoyan M.M., Pozhaloystin V.S. Improving the technology of concrete production for industrial construction [Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva betona dlya industrial'nogo stroitel'stva]. Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies-2019. Under total. ed. M.V. Shuvalova, A.A. Pishchuleva, A.K. Strelkov. Samara: Publishing house: SSTU. 2019. Pp. 127–131. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41372610> (date of treatment 10.08.2021) (rus)
5. Mordich M.M. Technology and physical and mechanical properties of expanded clay foam concrete for monolithic and prefabricated construction [Tekhnologiya i fiziko-mekhanicheskie svoystva keramzitopenobetona dlya monolitnogo i sbornogo stroitel'stva]. Science and technology. 2019. Vol. 18. No. 4. Pp. 292–302. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-292-302 (rus)
6. Toshin D.S., Rovenskaya E.A. The influence of long-term hardening conditions on the strength of heavy concrete [Vliyanie usloviy dlitel'nogo tverdeniya na prochnost' tyazhelogo betona]. Academic Bulletin Ural Research institutes project RAAaBS. 2020. No. 2. Pp. 71–75. DOI: 10.25628/UNIIP.2020.45.2.012 (rus)
7. Bogomolov A. A., Korneev A. S. Influence of homogeneity of asphalt concrete mixtures on the strength of road surfaces [Vliyanie odnorodnosti asfal'tobetonnykh smesey na prochnost' dorozhnykh pokrytiy]. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Interstroyekh-2010. Ed. ed. V.S. Bogdanov. Belgorod: Publishing house: BSTU named after V.G. Shukhova. 2010. Pp. 39–42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20113954> (date of treatment 12.08.2021) (rus)
8. Butenko S.A., Zalyakaeva D.R. Assessment of the quality and strength of concrete in real construction conditions [Otsenka kachestva i prochnosti betona v usloviyakh real'nogo stroitel'stva]. Urban Planning and Architecture. 2019. V. 9. No. 4. Pp. 4–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.1 (rus)
9. Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I. On the issue of the productivity of rotary concrete mixers [K voprosu proizvoditel'nosti rotornykh betonosmesiteley]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 2. Pp. 178–182. DOI: 10.12737/24255 (rus)

10. Bullard J.W. The Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory Consortium. Annual Report. 2003. Pp. 1–39. URL: https://www.researchgate.net/publication/240239168_The_Virtual_Cement_and_Concrete_Testing_Laboratory_Consortium_Annual_Report_2001 (date of treatment 11.08.2021)

11. Hu J., Stroeven P. Shape Characterization of Concrete Aggregate. Image Anal Stereol. 2006. No. 25. Pp. 43–53. doi: 105566/ias.1400

12. Goncalves C., Margarido F. Materials for Construction and Civil Engineering. Springer International Publishing, 2015. 902 p. DOI 10.1007/978-3-319-08236-3

13. Kikin N.O., Samoilenko D.G., Bolotnikova N.V., Kotova L.N. Comparative characteristics of two-shaft mixers of domestic production [Sravnitel'naya kharakteristika dvukhval'nykh smesiteley otechestvennogo proizvodstva]. Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: interuniversity. Digest of articles Issue XVIII. Belgorod. 2019. Pp. 173–178. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44075476> (date of treatment 10.08.2021) (rus)

14. Demin O.V., Pershin V.F., Smolin D.O. Intensification of mixing of bulk materials in a paddle mixer [Intensifikatsiya smeshivaniya sypuchikh materialov v lopastnom smesitele]. Chemistry and Chemical Technology. 2012. No. 8. Pp. 108–111. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (date of treatment 11.08.2021) (rus)

15. Pershin V.F., Pasko A.A., Demin O.V. Simulation of plate movement in bulk material

[Modelirovanie dvizheniya plastiny v sypuchem materiale]. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2002. Vol. 8. No. 3. Pp. 444–449. AdobeAcrobatReader. URL: http://vestnik.tstu.ru/rus/t_8/pdf/8_3_007.pdf (date of treatment 12.08.2021) (rus)

16. Pat. 192657, Russian Federation, IPC B28C 5/14, B01F 7/04 Material mixer. [Smesitel materialov] S.I. Khanin, N.O. Kikin; Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov." No. 2019119931; declared 06/25/2019; publ. 09/25/2019, Bull. No. 27. 6 p. (rus)

17. Sautin S.N. Planning an experiment in chemistry and chemical technology [Planirovanie eksperimenta v khimii i khimicheskoy tekhnologii]. Leningrad: Publishing house "Chemistry", 1975. 48 p. (rus)

18. Sevrov K.P., Kamchatkov L.P. Installations for the preparation of asphalt-concrete and bitumen-mineral mixtures [Ustanovki dlya prigotovleniya asfal'to-betonnykh i bitumo-mineral'nykh smesey]. M.: Publishing house of mechanical engineering, 1971. 105 p. (rus)

19. Makarov Yu.I. Apparatus for mixing bulk materials [Apparati dlya smeshivaniya sypuchih materialov]. M.: Mechanical Engineering, 1973. 216 p. (rus)

20. Gusev Yu.I., Karasev I.N., Kalman-Ivanov E.E., Makarov Yu.I., Makevnin M.P., Rasskazov N.I. Design and calculation of machines for chemical production [Konstruirovaniye i raschet mashin himicheskikh proizvodstv]. M.: Mashinostroenie, 1985. 408 p. (rus)

Information about the authors

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: dh@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kikin, Nikolay O. Postgraduate student. E-mail: nikolaykikin@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mordovskaya, Olga S. PhD, Assistant professor. E-mail: unique.ox@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 26.07.2021

Для цитирования:

Ханин С.И., Кикин Н.О., Мордовская О.С. Исследование возможности повышения качества подготовки сухих строительных смесей в горизонтальном лопастном смесителе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 10. С. 99–108. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-99-108

For citation:

Khanin S.I., Kikin N.O., Mordovskaya O.S. Research of the possibility of increasing the quality of preparation of dry mixtures in a horizontal vane mixer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 10. Pp. 99–108. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-99-108