

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-107-115

*\*Пахомов Е.Г., Романович А.А., Романович М.А., Дядин М.О.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: evgniur@mail.ru*

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**Аннотация.** В статье представлено описание экспериментальной установки энергосберегающего смесителя для приготовления сухих строительных смесей. Установка состоит из приемного устройства для загрузки различных компонентов, камеры смесительной, включающей в себя два вала с лопастями, позволяющими интенсифицировать процесс движения компонентов смеси, и тем самым уменьшить время на их перемешивания. Валы приводятся в движение от двух электродвигателей, для разгрузки готовой смеси предусмотрена задвижка, установленная в нижней части смесительной камеры, управление которой с целью быстрого срабатывания осуществляется пневматической системой. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по установлению влияния конструктивно-технологических параметров смесителя: угла наклона лопаток, окружной скорости их вращения и времени перемешивания на качественные характеристики процесса смешивания сухих строительных смесей. Установлено, что увеличение угла наклона лопаток приводит к повышению мощности, затрачиваемой на осуществление процесса перемешивания компонентов. Это связано с тем, что при увеличении угла наклона лопатки сопровождается повышением сопротивления перемешиванию, так как возрастает площадь её соприкосновения со смесью. Повышение частоты вращения роторов влечет за собой пропорциональный рост мощности. При угле наклона лопаток равном  $45^\circ$  к направлению её движения достигается наилучший результат приготовления смеси.

**Ключевые слова:** энергосберегающий смеситель, лопасть, сухая строительная смесь.

**Введение.** В строительном комплексе России ощущается дефицит сухих строительных смесей (ССС), применяемых для отделочных работ, так как многие зарубежные компании в последние годы ушли с Российского рынка.

Крупные отечественные компании, которые в настоящее время обеспечивают более 50 % спроса на сухие строительные смеси, учитывают эти условия и стараются восполнить российский рынок хотя бы с таким же уровнем производства [1–3], но это достаточно сложно. Конечно, доли крупных производителей на рынке со временем меняются, но движение изменений достаточно плавное. Всего в России около 250 различных предприятий, включая небольшие, которые производят сухие материалы общестроительного и специального назначения. К таким производствам относят: получение строительных сухих строительных смесей, пигмента красок, клеевых смесей, строительных и других шихтовых материалов. Однако существующих производственных мощностей в стране недостаточно для покрытия создавшегося дефицита сухих строительных смесей [1].

Восполнить рынок сухих строительных смесей позволило бы создание новых компактных высокоэффективных технологий для малых и средних инвестиционных предприятий.

Однако отсутствие высокопроизводительного компактного оборудования, входящего в состав технологии по производству этих смесей,

создает значительные трудности малому и среднему бизнесу для быстрого перехода на выпуск сухих строительных смесей. Так как, эти предприятия обладают, как правило, небольшими производственными площадями и ресурсами.

В технологии производства сухих строительных смесей одной из важнейших стадий является процесс смешивания дисперсных компонентов, который осуществляется в смесителях различного типа и во многом определяет производительность по выпуску готовой продукции. На многих производствах для получения таких продуктов до настоящего времени применяют лопастные смесители периодического действия, которые относятся к машинам, скорость вращения рабочих органов, которых обычно не превышает  $150 \text{ мин}^{-1}$ . В этих смесителях для смешения и осевого перемещения сыпучих материалов служат лопатки, спирали, прерывистые витки шнека или винтовые ленты, закрепленные на одном или двух параллельных валах, пропущенных через корпус смесителя. Сечение корпуса этих смесителей может иметь одну из следующих форм: цилиндрическую, корытообразную, овальную, перевернутой восьмерки и другие [4–7].

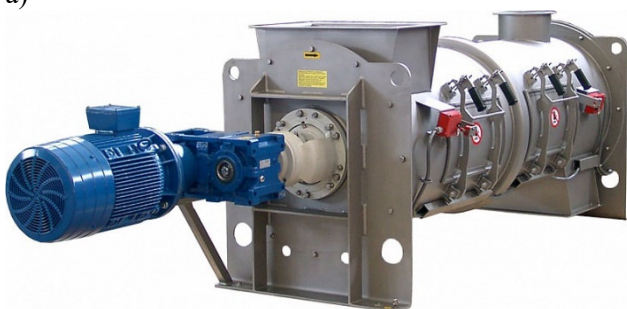
На сегодня во многих производствах применяют смесители, которые, как правило, реализуют не эффективный способ перемешивания (конструкция лопасти не позволяет создавать турбулизацию движения компонентов смеси), и

имеют достаточно большие габариты (так как горизонтально расположенный привод увеличивает габариты), что приводит к сложности в создании компактной технологии производства и тормозит увеличению объема выпуска готовой продукции [8–10, 12–15].

Проведенный анализ существующих конструкций смесителей, применяемых в производстве сухих строительных смесей показал, что наибольшее распространения получили смесители с горизонтальным или вертикальным расположением смесительных органов.

Представителем лопастных смесителей с горизонтальным расположением лопастных валов является смеситель периодического действия фирмы «ARDON» основанный на принципе ме-

а)



ханического смешивания продукта. Форма, расположение и скорость вращения смесительных элементов создают центробежное вихревое движение, при котором частицы продукта интенсивно перемещаются в трёх плоскостях. В таком режиме обеспечивается высокое качество смешивания материалов с различным гранулометрическим составом и насыпной плотностью за определенное время. Однако недостатком данных смесителей являются большие габаритные размеры (рис.1, а), что требует дополнительных площадей на их размещение, или повышенная нагрузка, создаваемая от веса привода на подшипниковые опоры (рис.1, б), что требует усиления конструкции и, тем самым, увеличение его массы.

б)



Рис. 1. Лопастные смесители фирмы «ARDON»:

а – с горизонтальным расположением привода; б – с вертикальным

Представителем лопастных смесителей с вертикальным расположением одного или двух лопастных валов являются смесители фирмы SATEC (рис. 2). В них применяется принцип противоточного перемешивания, который обеспечи-

а)



вает оптимальную однородность смеси в заданные сроки. Благодаря совместному действию высокоскоростного ротора интенсивный смеситель SATEC позволяет добиться однородности смешивания компонентов [11].

б)



Рис. 2. Лопастной смеситель с вертикальным расположением лопастных валов SATEC:

а – вид на смеситель; б – вид на ротор

Смесительный ротор, установленный вертикально с лопастями, наклоненными под определенным углом, транспортирует материал вверх

во время вращения, и когда материал достигает определенной высоты, он падает вниз под дей-

ствием силы тяжести, образуя грубое перемешивание смеси за счет горизонтального и вертикального движения её компонентов. Так как лопасти, оказывающие действие на перемешиваемый материал в конструкциях данных смесителей, представляют собой лопатку либо скребок, установленные в лучшем случае под определенным углом, что не позволяет создавать турбулентное движение, смешиваемых компонентов и тем самым требует большего времени для их качественного перемешивания. Наличие вертикального расположения привода приводит к затруднению процесса заполнения смесительного барабана компонентами смеси, так как их подаче препятствуют лопастные валы.

Таким образом, проведенный анализ существующих конструкций смесителей, применяемых в производстве сухих строительных смесей показал, что наибольшее распространения получили смесители с горизонтальным или вертикальным расположением смесительных органов. Однако недостатком горизонтальных смесителей являются большие габаритные размеры что требует дополнительных площадей на их размещение, а, повышенная нагрузка, создаваемая от веса привода на подшипниковые опоры, требует усиления конструкции и тем самым увеличение его массы. При вертикальном расположении привода приводит к затруднению процесса заполнения смесительного барабана компонентами, подлежащими перемешиванию. Как правило, рабочие органы данных смесительных агрегатов

представляют собой лопатку либо скребок, установленные под определенным углом, что не позволяет создавать интенсивное движение смешиваемых компонентов и тем самым требует большего времени перемешивания.

Поэтому проведение исследований, направленных на совершенствование существующих конструкций и создание новых смесителей является наиболее актуальной задачей, стоящей перед инженерами в области разработки оборудования для производства сухих строительных смесей.

Целью работы является описание и исследование новой компактной конструкции смесителя, позволяющего сократить время на приготовления смесей.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- описать конструкцию смесителя с эффективным рабочим органом;
- исследовать влияние угла наклона лопаток, окружной скорости их вращения и времени перемешивания на выходные показатели агрегата и установить их рациональные параметры.

**Материалы и методы.** Учеными БГТУ им. В.Г. Шухова разработана экспериментальная установка энергосберегающего смесителя для приготовления сухих строительных смесей [5, 9], позволяющая в значительной степени ликвидировать, указанные выше недостатки (рис 3).

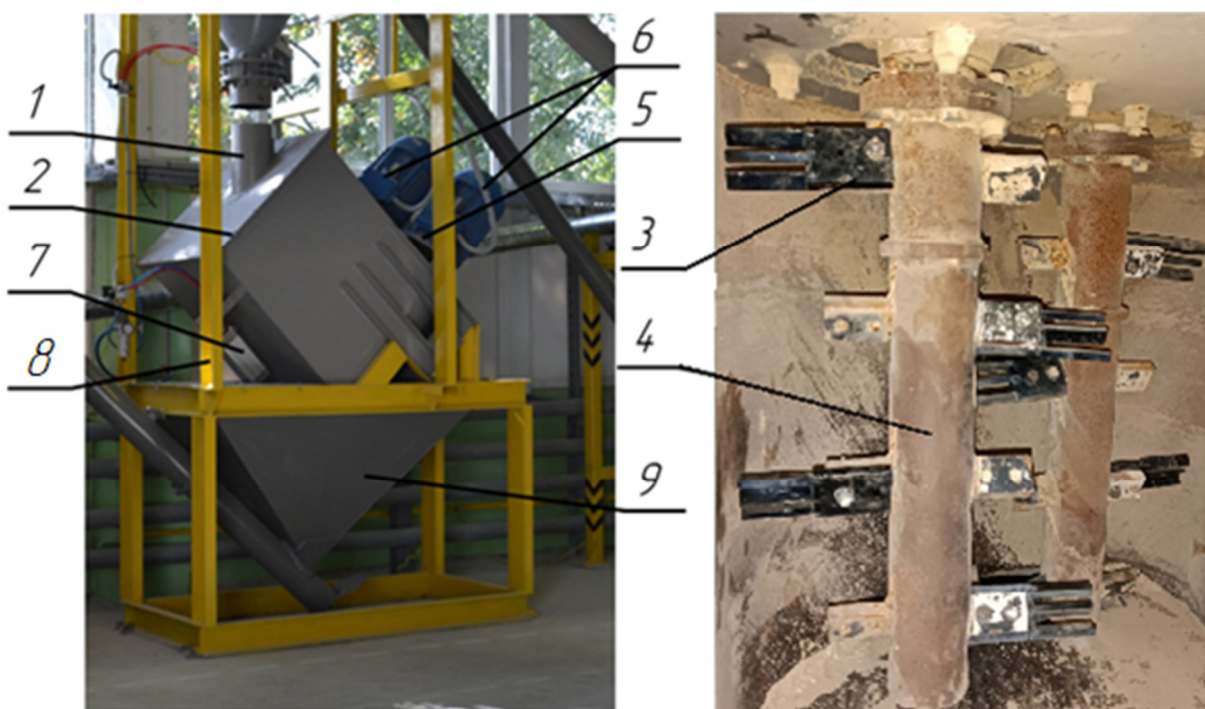


Рис. 3. Экспериментальная установка энергосберегающего смесителя:

- 1 – приемное устройство, 2 – камера смесителя, 3 – лопасть, 4 – вал, 5 – крепление силового агрегата, 6 – электродвигатель, 7 – пневмоцилиндр, 8 – рама, 9 – накопительный бункер

Смеситель имеет следующие технические характеристики: габаритные размеры – 1850×880×1600 мм; диаметр ротора с лопатками – 474 мм; мощность привода – 2×7,5 кВт, объем смесительной чаши – 0,37 м<sup>3</sup>.

Установка состоит из следующих основных частей: приемного устройства 1 для загрузки различных компонентов, камеры смесительной 2, включающей в себя два вала 4 с лопастями 3, позволяющими интенсифицировать процесс движение компонентов смеси, и тем самым уменьшить время на их перемешивания. Валы приводятся в движение от двух электродвигателей 6, установленных на корпусе смесительной камеры. Для разгрузки готовой смеси предусмотрена задвижка, расположенная в нижней части смесительной камеры, управление которой с целью быстрого срабатывания осуществляется пневматической системой 7. Готовая продукция подается в накопительный бункер 9. Для лучшего заполнения камеры исходными компонентами и уменьшения нагрузки на подшипниковые узлы валов от привода, корпус смесителя установлен на раме 8 под углом 45°, что позволяет придать смесителю более компактную форму и способствует лучшему заполнению смешиваемыми компонентами.

В верхней части смесительной камеры расположено приемное устройство, над которым может устанавливаться бункер-дозатор или любое другое загрузочное устройство, обеспечивающее дозирование подлежащих смешиванию компонентов.

Конструкция лопасти 3 смесителя (рис. 4) представляет собой жестко установленные на основании три лопатки, причем первая из них повернута на угол 45° относительно продольной оси основания, а следующие лопатки повернуты друг относительно друга на угол  $\alpha = 90^\circ$ . Такое расположение лопаток позволит создавать меньшее сопротивление движению лопастей, так как уменьшается площадь их лобовой атаки и интенсифицировать процесс перемешивания.

Угловое положение лопастей относительно направления вращения вызывает перемещение

материала как вдоль оси вращения, так и вдоль продольной оси смесителя, что приводит к сложным перемещениям материала внутри смесителя.

Механика процесса смешивания в лопастном смесителе осуществляется следующим образом: при вращении рабочего органа, лопасти, следуя друг за другом, оставляют в массе смеси следы, копирующие их форму и непрерывно заполняемые близлежащим материалом; в результате такого движения происходит также сдвиг некоторой его части в различных направлениях за счет отражения и скольжения по лопаткам, установленным под углом  $\alpha$  к различным плоскостям их вращения (рис. 4, 5).

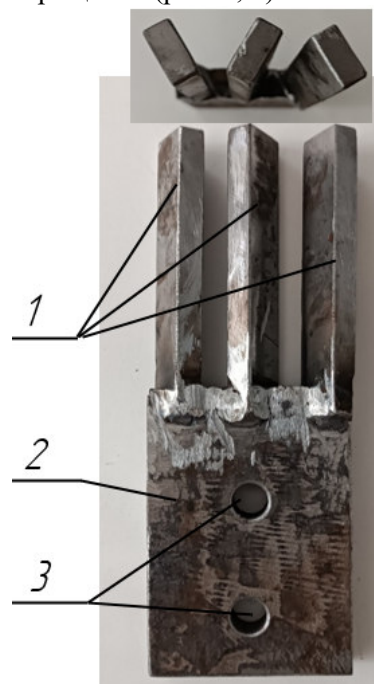


Рис. 4. Лопасть смесителя:  
1 – лопатки; 2 – основание;

3 – отверстия для крепления к ротору

На рис. 5 представлена схема установки лопаток на лопасти и направление движение смеси. При таком расположении лопаток создается зазор  $b$  между ними, а встречно направленные потоки компонентов смеси  $F$  способствуют более быстрому её перемешиванию.

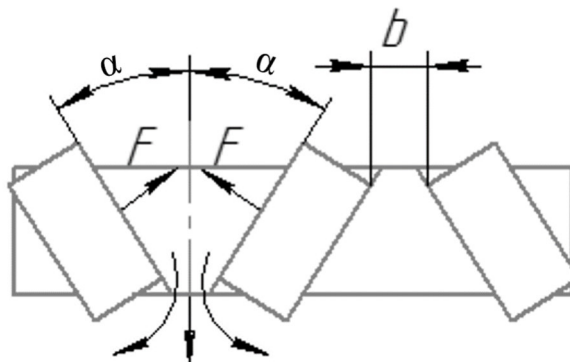


Рис. 5. Схема установки лопатки на лопасти и движение смеси

Создаваемые таким образом потоки частиц получают направленное движение, которое фактически и определяет характер и интенсивность процесса смешивания. Это движение сохраняется до тех пор, пока они контактируют с лопастями смесителя и нарушается при схождении материала с их рабочей поверхности. В дальнейшем оно повторяется при попадании сдвигаемой массы в зону действия следующей лопасти.

Поскольку скорость и направление потоков движущихся частиц посредственно влияют на интенсивность процесса смесеобразования и определяют характер изменения общего состояния исследуемой системы, то, зная законы движения этих потоков, можно управлять процессом смешивания, в частности – путем выбора оптимальных параметров рабочего органа и режимов работы смесителя.

Расположение на торце корпуса трех лопаток, размещенных под углом  $\alpha = 45^\circ$  относительно продольной оси поперечного сечения корпуса, позволяет также создавать направленное встречное движение отраженного от соседней лопатки материала. Собравшийся перед лопатками перемешиваемый материал уплотняется и проходит в отверстие между ними, это приводит к резкому снятию напряжения и распылению его позади лопаток, что приведет к повышению качества приготовления сухих строительных смесей и сокращению времени перемешивания.

Однако, описание движения частиц в потоке задача весьма сложная. В практике очень часто установление и выбор конструктивных и кинематических параметров рабочих органов основываются на изучении законов движения отдельной частицы материального элемента по их рабочим поверхностям [14-15]. С этой целью рассматривают движение отдельной материальной частицы, находящейся в непосредственном контакте с рабочим органом смесителя, и считают,

что поведение остальных частиц движущегося потока в первом приближении аналогично движению данной частицы. Кроме того, считают, что частица, сходящая с лопасти, продолжает свое движение до полной остановки или столкновения в направлении вектора абсолютной скорости, которую она приобрела при движении по рабочей поверхности лопасти или столкновения с частицей, отразившейся от соседней лопатки.

Чтобы определить интересующую нас скорость движения частицы, необходимо, применительно к нашему случаю, решить обратную задачу динамики для отдельной несвободной материальной частицы, т.е. найти закон ее движения, зная действующие на нее силы, а также начальные и граничные условия её положения. Однако эта задача весьма сложная.

Очевидно, интенсивность и производительность процесса механического перемешивания, которое осуществляется путем взаимного перемещения минеральных частиц, зависит от скорости и числа оборотов лопаток, их размера, радиуса, формы, угла установки в плоскости вращения и по отношению друг к другу. На процесс перемешивания влияют также размеры корпуса смесителя, степень заполнения его смесью, последовательность и порядок подачи в смеситель составляющих смесь материалов и их физико-механические свойства.

Поэтому с целью установления рациональных параметров и подтверждения эффективности от применения разработанного смесителя было исследовано влияние угла наклона лопаток, окружной скорости их вращения и времени перемешивания на выходные параметры агрегата. Результаты экспериментов представлены в виде графических зависимостей на рис. 6 и 7.

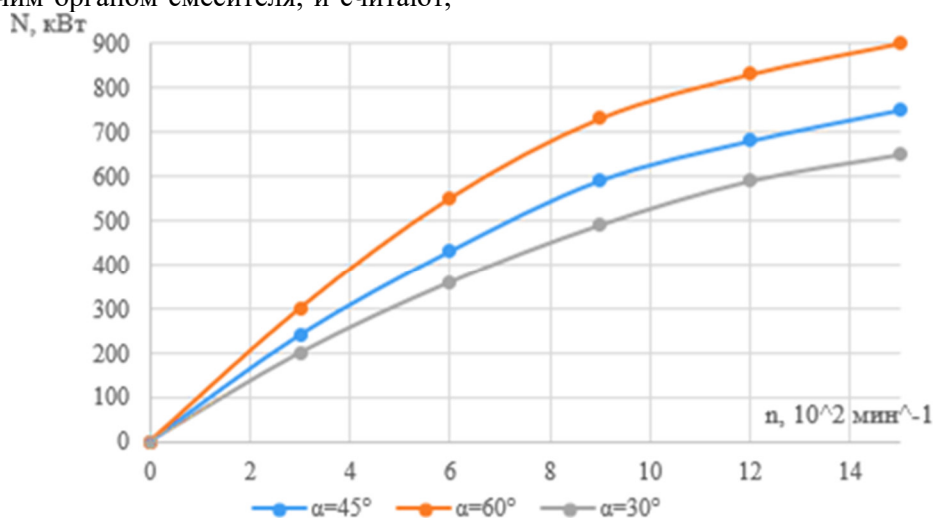


Рис. 6. Влияние угла наклона лопаток и частоты вращения роторов на потребляемую мощность

Отбор проб при приготовлении смесей в смесительной установке проводился через каждые 10 секунд после начала перемешивания смеси. Для испытаний отбиралась объединенная проба, составленная из трех-четырех тщательно перемешанных между собой точечных проб.

На рис. 6 представлен график зависимости влияния угла наклона лопаток и частоты вращения роторов на потребляемую мощность, анализ которого позволил установить, что увеличение угла наклона лопаток приводит к увеличению мощности, затрачиваемой на осуществление процесса перемешивания компонентов сухой строительной смеси. Это связано с тем, что увеличение угла наклона лопатки влечет за собой повышение сопротивления перемешиванию, так как возрастает площадь её лобового движения. Увеличение частоты вращения ротора влечет за собой пропорциональный рост мощности.

Однако важными показателями процесса приготовления смеси являются качество и время смешивания, которые в значительной степени влияют на производительность. Поэтому было изучено влияние угла наклона лопаток на продолжительность перемешивания для получения однородности смеси, равной 80 %.

На рис. 7 представлен график влияние угла наклона лопаток на продолжительность перемешивания, который позволил установить, что при угле наклона лопаток  $\alpha = 45^\circ$  к направлению её движения достигается наилучший результат приготовления смеси. При изменении угла наклона лопатки от положения, равное  $45^\circ$  в ту или в другую сторону в диапазоне от  $30^\circ$  до  $60^\circ$  наблюдается ухудшение процесса перемешивания на что указывает увеличение времени, необходимого на получение готового продукта.

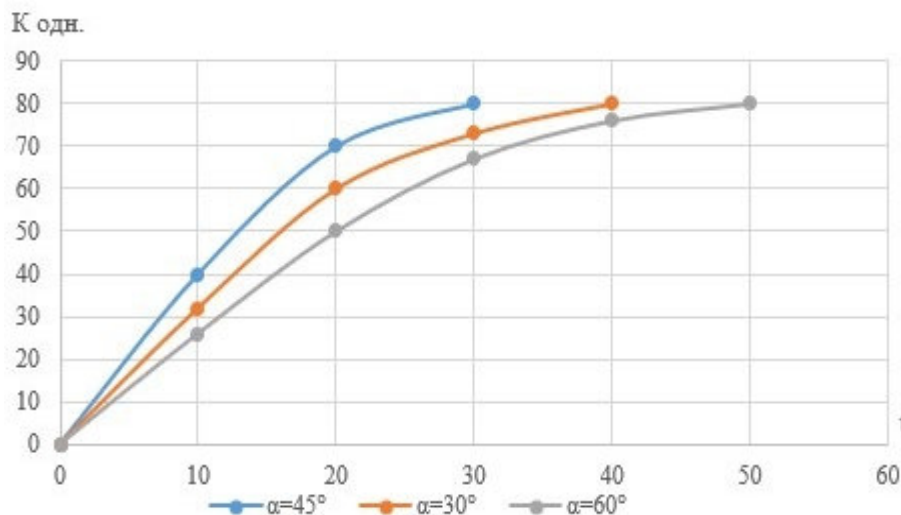


Рис. 7. Влияние угла наклона лопаток на продолжительность перемешивания

Это объясняется тем, что при угле  $45^\circ$  создаются условия перемешивания, при которых компоненты при движении с одной лопасти отбрасываются на противоположную и далее направляются в зазор между ними, пройдя через который, смесь распыляется так как расположение лопастей представляет собой диффузор. Такое движение компонентов смеси приводит к более быстрому их перемешиванию и тем самым позволяет уменьшить время приготовления сухой строительной смеси на 15–20 %.

**Вывод.** Разработанная экспериментальная установка позволяет интенсифицировать процесс движения компонентов смеси, и тем самым уменьшить время на их перемешивания. Это достигается за счет конструкции лопастей смесителя, представляющих собой жестко установленные на основании три лопатки, причем первая из них повернута на угол  $45^\circ$  относительно продольной оси основания, а следующие лопатки

повернуты друг относительно друга на угол  $\alpha = 90^\circ$ . Такое расположение лопаток позволяет создавать как меньшее сопротивление их движению, за счет уменьшения площади лобовой атаки, по сравнению с плоскими лопатками, так и сложное движение частиц смешиваемых компонентов, что уменьшает время, необходимое на перемешивание компонентов.

В результате проведения экспериментальных исследований изучено влияние конструктивно-технологических параметров смесителя: угла наклона лопаток, окружной скорости их вращения и времени перемешивания на качественные характеристики процесса смешивания сухих строительных смесей. Установлено, что увеличение угла наклона лопаток приводит к повышению мощности, затрачиваемой на осуществление процесса перемешивания компонентов. Это связано с тем, что при увеличении угла наклона лопатки сопровождается повышением

сопротивления перемешиванию, так как возрастает площадь её соприкосновения со смесью. Увеличение частоты вращения роторов влечет за собой пропорциональный рост мощности. При угле наклона лопаток равном  $45^\circ$  к направлению их движения достигается наилучший результат приготовления смеси.

Применение, разработанного смесителя в технологических линиях по производству сухих строительных смесей позволит значительно повысить производительность, а компактная его конструкция способствует размещению на небольших производственных площадях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ рынка сухих строительных смесей в России в 2018-2022 гг., прогноз на 2023-2027 годы в условиях санкций. URL: <http://info@businessstat.ru>, свободный (дата обращения: 07.02.2024).
2. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Глагоев Е.С., Володченко А.А., Воронов В.В., Кучерова А.С., Теоретические основы создания сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №9. С. 40–51.
3. Турбулентные смесители серии «СБТ» URL: <https://www.penostroy.ru/equip/8.html>, свободный (дата обращения: 07.02.2024).
4. Satecmix. URL: [http://www.satecmix.ru/tech\\_3.html](http://www.satecmix.ru/tech_3.html), свободный (дата обращения: 07.02.2024).
5. Romanovich A.A., Osalou A.Z., Mamatova V.V., Pahomov E.G. The grinding bodies movement dynamics study in a ball mill equipped with energy-exchanging devices // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 698. 066037. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066037
6. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Барышева Т.А. Разработка роторного смесителя с высокоскоростным режимом смешивания для производства модифицированных строительных смесей // Научно-технологические инновации : Юбилейная международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. Том 4. С. 85–87.
7. Романович А.А., Пахомов Е.Г. и др. Энергосбережение при измельчении материалов с анизотропной текстурой // Строительные и дорожные машины // СДМ-Пресс. 2020. №11. С. 9–16.
8. Romanovich A.A., Amini E., Apukhtina I.V., Pahomov E.G. The grinding clinker pressure process study // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 698. 066038. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066038
9. Пат. 214623 Российская Федерация, МПК B01F 15/00 (2006.01); B01F 7/00 (2006.01). Лопатка смесителя / Е.Г. Пахомов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО БГТУ им В.Г. Шухова. №2022105098; заявл. 25.02.22; опубл. 08.11.22.
10. Вэй П.А. Имитационное моделирование параметров процесса смешивания сухих строительных смесей в горизонтальном барабанном смесителе непрерывного действия // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. № 1-1(8). С. 122–128. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-13.
11. Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Окушко В.В., Шестаков Ю.Г. Механика взвешенного слоя с полидисперсными частицами в пневмосмесителях непрерывного действия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 3. С. 121–127. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127
12. Кудрявцев В.А., Левина Н.С., Светлов С.А. Исследование процесса перемешивания компонентов смесевых составов в лопастном смесителе // Ползуновский вестник. 2009. № 3. С. 141–143.
13. Казичев И.Н. Обоснование конструкции смесителя для производства кускового топлива из фрезерного торфяного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 245–247.
14. Остриков А.Н., Сухарев А.И. Разработка математической модели процесса смешивания в двухвальном лопастном смесителе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 5. С. 26–29.
15. Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Гончаров Е.И. Аэродинамические особенности пневмосмесителей для производства сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 149–155. DOI: 10.12737/article\_5a001abe2036c3.69884344.

### Информация об авторах

**Пахомов Евгений Григорьевич**, младший научный сотрудник, аспирант. E-mail: [evgniur@mail.ru](mailto:evgniur@mail.ru) Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Романович Алексей Алексеевич**, профессор, доктор технических наук кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: [Alexejrom@yandex.ru](mailto:Alexejrom@yandex.ru), Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Романович Марина Алексеевна**, доцент, кандидат экономических наук кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: bel31rm@yandex.ru., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Дядим Максим Олегович**, младший научный сотрудник, аспирант. E-mail: Dyadin\_maks@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.02.2024 г.

© Пахомов Е.Г., Романович А.А., Романович М.А., Дядин М.О., 2024

**\*Pakhomov E.G., Romanovich A.A., Romanovich M.A., Yadin M.O.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: evgniyo@mail.ru*

## ENERGY-SAVING MIXING UNIT FOR THE PREPARATION OF DRY BUILDING MIXES

**Abstract.** *The article describes an experimental installation of an energy-saving mixing unit for the preparation of dry building mixes. The installation consists of a receiving device for loading various components, a mixing chamber, which includes two shafts with blades that allow to intensify the process of movement of the components of the mixture, and thereby reduce the time for mixing them. The shafts are driven by two electric motors, a valve is provided for unloading the finished mixture, installed in the lower part of the mixing chamber, which is controlled by a pneumatic system for quick operation. The article presents the results of experimental studies to establish the influence of the structural and technological parameters of the mixer: the angle of inclination of the blades, the circumferential speed of their rotation and the mixing time on the qualitative characteristics of the mixing process of dry building mixes. It was found that an increase in the angle of inclination of the blades leads to an increase in the power spent on the mixing process of the components. This is due to the fact that with an increase in the angle of inclination of the blade, it is accompanied by an increase in the resistance to mixing, as the area of its contact with the mixture increases. An increase in the rotation frequency of the rotors entails a proportional increase in power. With an angle of inclination of the blades equal to 45 ° to the direction of its movement, the best result of preparing the mixture is achieved.*

**Keywords:** *energy-saving mixing unit, blade, dry construction mix.*

### REFERENCES

1. Analysis of the dry building mixes market in Russia in 2018-2022, forecast for 2023-2027 under sanctions. URL: <http://info@businessstat.ru> , free (accessed 07.02.2024).

2. Zagorodnyuk L.H., Lesovik V.S., Glagoev E.S., Volodchenko A.A., Voronov V.V., Kucherova A.S., Theoretical foundations of the creation of dry building mixes [Teoreticheskie osnovy sozdaniya suhikh stroitel'nyh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 9. Pp. 40–51. (rus)

3. Turbulent mixers of the SBT series. URL: <https://www.penostroy.ru/equip/8.html> , free (accessed 07.02.2024).

4. Satecmix. URL: [http://www.satecmix.ru/tech\\_3.html](http://www.satecmix.ru/tech_3.html) , free (accessed 07.02.2024).

5. Romanovich A.A., Osalou A.Z, Mamatova V.V., Pahomov E.G. The grinding bodies movement dynamics study in a ball mill equipped with energy-exchanging devices. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698. 066037. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066037

6. Nesmeyanov N.P., Brazhnikyu V., Barysheva T.A. Development of a rotary mixer with a high-

speed mixing mode for the production of modified building mixes [Razrabotka rotornogo smesitelya s vysokoskorostnym rezhimom smeshivaniya dlya proizvodstva modifitsirovannyh stroitel'nyh smesey] Naukoemkie tekhnologii innovacii : Yubilejnaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova, XXI nauchnye chteniya. Belgorod: BSTU named after V.G. Shuhov. 2014. Vol. 4 Pp. 85–87. (rus)

7. Romanovich A.A., Pakhomov E.G. and others. Energy saving when grinding materials with anisotropic texture [Energoberezhenie pri izmel'chenii materialov s anizotropnoj teksturoj]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. SDM-Press. 2020. No. 11. Pp. 9–16. (rus)

8. Romanovich A.A., Amini E., Pahomov E.G. The grinding clinker pressure process study. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698. 066038. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066038

9. Pakhomov E.G. Lopatka smesitelya. Patent RF, no. 2022105098, 2022.

10. Wei P.A. Simulation modeling of the parameters of the mixing process of dry building mixes in



a horizontal continuous drum mixer [Imitacionnoe modelirovanie parametrov processa smeshivaniya suhikh stroitel'nyh smesej v gorizonta'lnom barabannom smesitele nepreryvnogo dejstviya]. Avtomatizaciya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemah. 2014. № 1-1(8). Pp. 122–128. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-13. (rus)

11. Kachaev A.E., Orekhova T.N., Okushko V.V., Shestakov Yu.G. Mechanics of a suspended layer with polydisperse particles in continuous pneumatic mixers [Mekhanika vzveshennogo sloya s polidispersnymi chasticami v pnevmosmesiteleyah nepreryvnogo dejstviya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 3. Pp. 121–127. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127 (rus)

12. Kudryavtsev V.A., Levina N.S., Svetlov S.A. Investigation of the mixing process of components of mixed compositions in a paddle mixer [Issledovanie processa peremeshivaniya komponentov smesevykh sostavov v lopastnom smesitele]. Polzunovskiy vestnik. 2009. No. 3. Pp. 141–143. (rus)

13. Kazichev I.N. Substantiation of the mixer design for the production of lump fuel from milling peat raw materials [Obosnovanie konstrukcii smesitelya dlya proizvodstva kuskovogo topliva iz frezernogo torfyanoogo syr'ya]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2012. No. 4. Pp. 245–247. (rus)

14. Ostrikov A.N., Sukharev A.I. Development of a mathematical model of the mixing process in a two-shaft paddle mixer [Razrabotka matematicheskoy modeli processa smeshivaniya v dvuhval'nom lopastnom smesitele]. Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya. 2002. No. 5. Pp. 26–29. (rus)

15. Kachaev A.E., Orekhova T.N., Goncharov E.I. Aerodynamic features of pneumatic mixers for the production of dry building mixes [Aerodinamicheskie osobennosti pnevmosmesitelej dlya proizvodstva suhikh stroitel'nyh smesej]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 149–155. DOI: 10.12737/article\_5a001abe2036c3.69884344. (rus)

#### *Information about the authors*

**Pakhomov, Evgeny G.** Postgraduate student. E-mail: evgniyp@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Romanovich, Alexey A.** DSc, Professor. E-mail: Alexejrom@yandex.ru, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Romanovich, Marina A.** PhD, Assistant professor. E-mail: bel31rm@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Dadin, Maxim O.** Postgraduate student. E-mail: Dyadin\_maks@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received 01.02.2024*

#### **Для цитирования:**

Пахомов Е.Г., Романович А.А., Романович М.А., Дядин М.О. Энергосберегающий смеситель для приготовления сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №3. С. 107–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-107-115

#### **For citation:**

Pakhomov E.G., Romanovich A.A., Romanovich M.A., Yadin M.O. Energy-saving mixing unit for the preparation of dry building mixes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 3. Pp. 107–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-107-115