

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150

Фадин Ю.М., \*Шеметова О.М.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: olga95kizilova@gmail.com

## СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ И СМЕСИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Изменившаяся экономическая ситуация в данное время создает все условия для пересмотра существующей базы материалов и сырья в строительстве, а также для преобразования и использования ее в дальнейшем. Одним из направлений достижения обозначенной цели является создание новых видов строительных материалов, более действенных и низких по ценовой категории по сравнению с классическими. Можем с полной уверенностью сказать, что к этому направлению относится и развивающаяся разработка сухих строительных смесей. Высокое качество сухих строительных смесей гарантируется стабильностью их состава и свойствами используемых ингредиентов. Экономия времени при использовании качественных сухих строительных смесей позволит получить конечный результат безупречным. Необходимой составной частью при изготовлении сухих строительных смесей является процесс смешивания, который включает в себя подготовку сырья, дозирование, распределение химических добавок. Основным показателем качества готового продукта на производстве ССС является его однородность. Поэтому на технологической линии по производству особое внимание уделяется смесительному участку. Многообразие сыпучих материалов и их свойств способствует созданию и различных видов смесителей для качественного перемешивания компонентов. В статье рассматривается история возникновения сухих строительных смесей и смесительное оборудование для их производства.

**Ключевые слова:** пневмосмеситель, смешивание, строительные смеси, вихревое смешивание, смеситель, совершенствование.

**Введение.** Первое упоминание об использовании сухих строительных смесей появилось еще в 6500 году до н.э. Основными компонентами связующего были известь, гипс и др. компоненты, которые пользуются популярностью и в нынешнее время [1]. Прорывом в составе сухих строительных смесей (далее ССС) можно считать тот момент, как впервые в их состав был добавлен портландцемент. С момента появления цемента на строительном рынке (19 век) и до нашего времени ассортимент строительных смесей значительно расширился, и ученые до сих пор проводят испытания в поисках новых композиционных материалов для улучшения качественных характеристик готового материала. В истории развития ССС было несколько значительных этапов видоизменения состава [2]. Например, около 50 лет назад начался этап полимермодифицированных ССС, где в строительную смесь начал добавляться клей ПВА, при добавлении которого между минеральными частицами готового продукта формируется гибкие пленки-мостики, которые на себя берут часть нагрузки при растяжении, выполняющие такую же функцию, как и арматура в железобетоне. С 1960-х годов начался этап добавления диспергируемых полимеров. Эти полимеры образуют клеи при добавлении воды и не содержат летучих вредных компонентов. Сегодня уже невозможно представить строительство и реконструкцию зда-

ний и помещений без использования модифицированных ССС, качество которых зависит от видов компонентов, их гранулометрического состава, а также главную роль играет качество смешивания компонентов [3].

**Материалы и методы.** Основные плюсы применения ССС по сравнению с традиционными составами и технологиями следующие [4]:

- лёгкость в работе, простота использования;
- однородность и прочность материала. Все составляющие смеси чётко дозированы, смесь постоянно однородна и стабильна по составу;
- экономичность материала. ССС значительно экономят время при их использовании. Еще сами строительные смеси имеют более высокое качество, и их возможно наносить более тонким слоем;
- адгезивность материала позволяет обрабатывать разные поверхности, не боясь некачественной сцепки материала с поверхностью;
- пластичность готовой ССС разрешает нанесение раствора на различную поверхность;
- данный материал может долго храниться в упаковке, и не утратит своих рабочих характеристик.

При производстве ССС основными этапами, влияющими на качество готового продукта является: подготовка сырья, дозирование, распределение химических добавок. Основным показателем качества готового продукта на производстве

ССС является его однородность. Поэтому на технологической линии по производству особое внимание уделяется смесительному участку [8].

Одними из основных параметров, определяющих качество ССС, являются такие значения, как степень однородности смеси. Степень однородности смеси можно определить, как равномерное распределение в концентрации готового материала компонентов, входящих в состав.

Из всех характеристик, отвечающих за качественное сырье, одной из важных является степень сепарации в момент перемешивания  $S$  – центральный абсолютный момент статистической плотности распределения физической плотности компонентов смеси по всему рассматриваемому объему [6]:

$$S = \frac{1}{V \cdot \bar{\rho}_{cm}} \sum_m \sum_n |\rho_i - \bar{\rho}_i| \Delta V_e, \quad (1)$$

где  $V$  – объем смеси;  $\rho_{cm}$  – средняя плотность смеси;  $\rho_i$  – плотность  $i$ -го компонента на данном участке смеси;  $\Delta V_e$  – средняя плотность  $i$ -го компонента;  $m$  – количество компонентов смеси;  $n$  – количество «элементов» – элементарных участков смеси.

Степень однородности, она же и степень сепарации, еще является параметром эффективного смешивания готового продукта [6].

Интенсивность перемешивания характеризуется следующими величинами:

- время, потраченное на достижение необходимой концентрации смеси при постоянном смешении;

- мощность, которая будет потрачена на процесс подведенной к одному объёму или массе готового продукта.

Критерий интенсивности перемешивания универсален, его можно определить, как скорость изменения степени смешивания во времени  $di/dt$ .

Скорость смешивания, представляющая собой уменьшение степени сепарации, служит критерием интенсивности процесса смешивания:

$$(dS/dx)' = -k_1 \cdot S. \quad (2)$$

Скорость сепарации, пропорциональная разности масс и текущему значению степени сепарации, выражается отношением:

$$(dS/dx)'' = k_2(S_{max} - S). \quad (3)$$

Анализ интегральной формы процесса смешивания, который включает в себя как смешивание, так и сепарирование, описывается формулой:

$$S = a + (S_{max} - a) \cdot e^{-k \cdot x}, \quad (4)$$

где  $S$  – центральный абсолютный момент статистической плотности распределения физической плотности компонентов смеси по всему рассматриваемому объему;  $a$  и  $k$  – постоянные, которые

характеризуют перемешивание и зависят от физической природы, состояния компонентов и работы смесительного агрегата;  $x$  – показывает движение компонентов в смесительном агрегате (его можно определить движением материала в рабочей камере смесительного агрегата и охарактеризовать меру воздействия механизма смешения на компоненты, которая прямо пропорциональна времени затрачиваемого на перемешивание  $t$ , частоте воздействия  $n$  механизма на компоненты и количественные составляющие движения компонентов  $z$ , т.е.  $x = n \cdot t \cdot Z$ ) [7].

При выборе смесителя или же при его проектировании необходимо также учитывать не менее важный параметр как удельный расход электроэнергии, определяется он количеством энергии, потраченной на количество материала за время процесса смешивания.

Кроме указанных ранее параметров на смешивание оказывает влияние и другие факторы, например, гранулометрический состав компонентов, дозирование и др. Из этого можно сделать вывод о том, что конкретной зависимости перемешивания компонентов не существует. А также еще вносит свое влияние на процесс перемешивания и смеситель и, в зависимости от типа смесителя, можно приблизить процесс смешивания к оптимальному [4].

В приведенных выше зависимостях [4] наиболее труднонаходимыми являются зависимости  $a$  и  $k$  (постоянные, которые охарактеризовывают перемешивание и зависят от физической природы, состояния компонентов и работы смесительного агрегата). Их находят по методам математической статистики. [9].

**Основная часть.** Смесителем называют оборудование, при помощи которого можно приготовить однородную смесь, состоящую из двух и более компонентов [8]. Смесительный агрегат может работать, как периодически, так и непрерывно. Смесительный агрегат может перемешивать материал гравитационно (при помощи свободного падения), принудительно (при помощи рабочего органа), а также воздействовать на материал энергоносителем [2]. Ведущими характеристиками любого процесса смешивания являются: расход энергии и эффективность перемешивания. На рис. 1 показана классификация смесительных машин для передовых производств ССС [5].

Из всего ассортимента смесителей набирают востребованность по изготовлению ССС такие смесители, как пневматические [5].

Вихревое смешивание в отличие от других видов смешивания характеризуется большими скоростями энергоносителя с компонентами

смеси [11]. Для создания вихревого потока воздуха при смешивании используется вентилятор или компрессор, регулируемый клапан для изменения скорости энергоносителя, а после смесителя стоят системы очистки газа для улавливания мелких частиц выходящих из разгрузочного патрубка пневмосмесителя [12]. Смеситель может работать как в периодическом цикле, так и в непрерывном. Пневмосмеситель может создать завихренный турбулентный поток в объеме смеси за

время от 15 до 30 секунд, такое же время требуется для оседания частиц после окончания работы пневмосмесителя [13]. Постоянная аэрация смеси во время смешения улучшает ее формуемость и уплотняемость, разрешает готовить высокопрочные смеси до 2 МПа при сохранении производительности смесителя [7]. Существуют несколько видов современных пневмосмесителей (рис. 2) [1].



Рис. 1. Классификация смесительных машин для современных производств СССР

Один из них пневмосмеситель с регулируемым потоками воздуха клапаном показан на рис. 2а. Существует смеситель с разделенной на несколько сегментов камерой (рис. 2б), где параметрами этих сегментов можно управлять. Так же существует колонный смеситель, показанный на рис. 2в, который состоит из центральной вытяжной трубы, через которую может течь материал во время смешивания, тем самым повышая эффективность процесса. Зона смешивания расположена непосредственно в центре смесителя. Утверждается, что материал идет вверх по вытяжной трубе, вылетает сверху и далее идет с внешней стороны трубы в нижнюю ее часть для

рециркуляции. Пневмосмеситель можно использовать не только в строительной индустрии, но и в нефтехимической промышленности, в стекольной промышленности, в фармацевтической и др [15].

Главными преимуществами такого смесителя будет являться простота его конструкции, смешивание значительных объемов (до 200 м<sup>3</sup>), смешивание высокоабразивных и хрупких материалов, низкие удельные энергозатраты, полный контроль процесса смешивания, малый износ рабочих поверхностей, отсутствие мертвых зон [10].

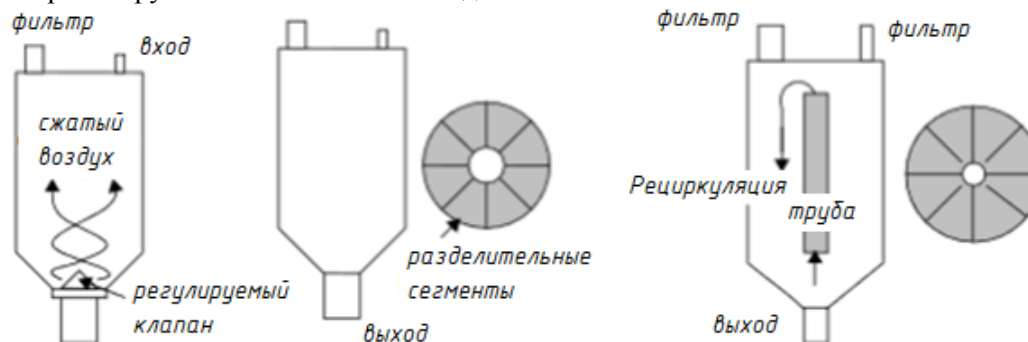


Рис. 2. Пневмосмеситель  
а) пневмосмеситель с клапаном; б) пневмосмеситель с сегментами; в) пневмосмеситель с трубой

**Выводы.** В настоящее время процесс пневматического смешивания сыпучих материалов редко где применяется в связи с малоизученным влиянием энергоносителя на перемешиваемый материал. Но пневмосмесители по сравнению с другими имеют ряд существенных преимуществ, таких как: низкая металлоемкость и отсутствие движущихся части. Именно поэтому в современном научном обществе идет разработка и исследование данных смесительных агрегатов. Для производства ССС важны производительности и качество продукции на предприятии. Применение данных смесителей повысит степень однородности готового продукта за счет интенсификации процесса перемешивания, а также приведет к увеличению производительности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков, Э.Л. и др. Современное состояние и перспективы развития производства сухих строительных смесей в России // Сб. статей Международной научно-технической конференции «Современные технологии сухих смесей в строительстве». Санкт-Петербург, 2000 г. Санкт-Петербург: Изд-во «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2000. С. 3–5.
2. Корнеев В.И. Сухие строительные смеси. М: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.
3. Орехова Т.Н., Агарков А.М., Голубятников А.А. Направления конструктивно-технологического совершенствования пневмосмесителей для производства строительных материалов // Научный альманах. 2015. №3. С. 124–127.
4. Дергунов С.А., Орехов С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства): учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
5. Орехова Т.Н. Пневмосмеситель непрерывного действия для производства сухих строительных смесей. Белгород, 2013. 158 с.
6. Лоскутьев Ю.А., Максимов В.М., Веселовский В.В. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов. М.: Машиностроение, 1986. 378 с.
7. Энциклопедия по машиностроению. Общезаводское оборудование. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://studfile.net/preview/7493544/page:15/> (дата обращения 20.10.2020)
8. Плотников В.А. Разработка и исследование новых смесительных агрегатов непрерывного действия для мелкодисперсных твердых материалов: дисс... канд. техн. наук. М.: МИХМ, 1981. 189 с.
9. Денисов Г.А. Производство и использования сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2011. С. 14–18.
10. Богданов В. С. Механическое оборудование предприятий промышленности стройматериалов. учеб. пособие. Белгород: БелГТАСМ, 1996. 102 с.
11. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Trends in the development of modern technology and technologies for mixing bulk materials // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 17–20.
12. Arratia P.E., Duong Nhat-hang, Muzzio F.J., Godbole P., Reynolds S. A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations. Powder Technology. 2006. Vol. 164. Pp. 50–57.
13. R. Weinekotter, H. Gericke. Mixing of solids. Kluwer academic publishers, 2000. 173 p.
14. Dury C.M., Ristow G.H. Competition of mixing and segregation in rotating. Physics of fluids. Vol. 11. 1999. Pp. 1387–1394.
15. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process. Engineering: A Review. The Canadian Journal of Chemical Engineering. No.6. 2004. Pp. 1143–1168.

#### Информация об авторах

**Фадин Юрий Михайлович**, кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: fadin.y@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Шеметова Ольга Михайловна**, аспирантка кафедры механического оборудования. E-mail: olga95kizilova@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 03.11.2020 г.

© Фадин Ю.М., Шеметова О.М., 2020

**Fadin Yu.M., \*Shemetova O.M.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

\*E-mail: olga95kizilova@gmail.com

## DRY MIXTURES AND MIXING EQUIPMENT FOR THEIR PRODUCTION

**Abstract.** Today's economic situation creates conditions for revising the existing base of materials and raw materials in construction, as well as for transforming and using it in the future. One of the ways to achieve this goal is the creation of new types of building materials, more effective and low in the price category compared to the classic ones. Dry building mixtures belongs to such materials. The high quality of dry building mixes is guaranteed by the stability of their composition and the properties of the ingredients used. Saving time when using high-quality dry building mixes will allow to get an irreproachable end result. A necessary component in the manufacture of dry building mixtures is the mixing process, which includes the preparation of raw materials, dosing and the distribution of chemical additives. The main indicator of the quality of the finished product in the production of dry mixes is its uniformity. Therefore, special attention is paid to the mixing section in the production line. The variety of bulk materials and their properties contributes to the creation of various types of mixers for high-quality mixing of components. The article discusses the history of the emergence of dry building mixes and mixing equipment for production.

**Keywords:** pneumatic mixer, mixing, building mixtures, vortex mixing, mixer, improvement.

### REFERENCES

1. Bolshakov E.L. et al. Current state and development prospects of production of dry building mixtures in Russia [Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesey v Rossii]. Sat. articles of the International Scientific and Technical Conference "Modern technologies of dry mixes in construction". St. Petersburg, 2000, St. Petersburg: Publishing house "STROYMATERIALY", 2000. Pp. 3–5. (rus)
2. Korneev V.I. Dry mixes [Sukhiye stroitel'nyye smesi]. M: RIF "Stroimaterialy", 2010. 320 p. (rus)
3. Orekhova T.N., Agarkov A.M., Golubyatnikov A.A. Directions of constructive and technological improvement of pneumatic mixers for the production of building materials [Napravleniya konstruktivno-tekhnologicheskogo sovershenstvovaniya pnevmosmesiteley dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov]. Scientific Almanac. 2015. No. 3. Pp. 124–127. (rus)
4. Dergunov S.A., Orekhov S.A. Dry building mixtures (composition, technology, properties): a tutorial [Sukhiye stroitel'nyye smesi (sostav, tekhnologiya, svoystva): uchebnoye posobiye]. Orenburg: OSU, 2012. 106 p. (rus)
5. Orekhova T.N. Continuous pneumatic mixer for the production of dry building mixtures [Pnevmosmesitel' nepreryvnogo deystviya dlya proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesey]. Belgorod, 2013. 158 p. (rus)
6. Loskutiyev Yu.A., Maksimov V.M., Veselovsky V.V. Mechanical equipment for enterprises producing cementitious building materials [Mekhanicheskoye oborudovaniye predpriyatiy po proizvodstvu vyazhushchikh stroitel'nykh materialov]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 378 p. (rus)
7. Encyclopedia of Mechanical Engineering. General plant equipment. [Electronic resource] [Enciklopediya po mashinostroeniyu/Obschezavodskoe oborudovanie. [Elektronnyy resurs]]. System. demands: Web-browser (Internet Explorer). URL: <https://studfile.net/preview/7493544/page:15/> (date of the application 20.10.2020) (rus)
8. Plotnikov V.A. Development and research of new continuous mixing units for finely dispersed solid materials: diss... cand. tech. sciences [Plotnikov V.A. Razrabotka i issledovaniye novykh smesitel'nykh agregatov nepreryvnogo deystviya dlya melkodispersnykh tverdykh materialov: diss... kand. tekhn. nauk]. Moscow: MIKhM, 1981. 189 p. (rus)
9. Denisov G.A. Production and use of dry building mixtures [Proizvodstvo i ispol'zovaniya sukhikh stroitel'nykh smesey]. Dry building mixtures. 2011. Pp. 14–18. (rus)
10. Bogdanov V.S. Mechanical equipment for enterprises of the building materials industry. study. allowance [Mekhanicheskoye oborudovaniye predpriyatiy promyshlennosti stroymaterialov]. Belgorod: BelGTASM, 1996. 102 p. (rus)
11. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Trends in the development of modern technology and technologies for mixing bulk materials // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 17–20.
12. Arratia P.E., Duong Nhat-hang, Muzzio F.J., Godbole P., Reynolds S. A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations. Powder Technology. 2006. Vol. 164. Pp. 50–57.
13. Weinekötter R., Gericke H. Mixing of solids. Kluwer academic publishers, 2000. 173 p.
14. Dury C.M., Ristow G.H. Competition of mixing and segregation in rotating. Physics of fluids. Vol. 11. 1999. Pp. 1387–1394.

15. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process. Engineering: A Review. The Canadian Journal of Chemical Engineering. No.6. 2004. Pp. 1143–1168.

*Information about the authors*

**Fadin, Yuri M.** PhD, Professor. E-mail: fadin.y@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Shemetova, Olga M.** Postgraduate student. E-mail: olga95kizilova@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 03.11.2020*

**Для цитирования:**

Фадин Ю.М., Шеметова О.М. Сухие строительные смеси и смесительное оборудование для их производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 145–150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150

**For citation:**

Fadin Yu. M., Shemetova O.M. Dry mixtures and mixing equipment for their production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 145–150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150