

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ В ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЕ

Шеметова О.М., Фадин Ю.М.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород

Ключевые слова: пневмосмеситель, смешивание, строительные смеси, смеситель, совершенствование, сухие строительные смеси, лабораторные исследования.

Аннотация. Для получения качественного готового продукта после смешения в пневмосмесителе после его проектирования и получения новой конструкции, которая является более эффективной, чем ранее созданные версии необходимо проведение лабораторных исследований, в результате которых определяются технологические и эксплуатационные характеристики. Грамотное планирование экспериментов позволяет сократить число опытов, не влияя на получение достоверных результатов и подобрать условия, которые оптимизируют выходные параметры установки. В статье рассматривается новая конструкция пневмосмесителя, которая позволяет обеспечивать интенсивное смешивание материалов, что ведет к увеличению степени однородности и соответственно к повышению качества готового продукта. Рассмотрены лабораторные исследования, которые определяют влияние параметров разработанной конструкции пневмосмесителя на процесс перемешивания сухих мелкодисперсных смесей. Грамотное планирование экспериментов и использования компьютерного моделирования позволяет сократить число опытов, не влияя на получение достоверных результатов и подобрать условия, которые оптимизируют выходные параметры установки. С помощью цифрового моделирования были проведены исследования потоков воздуха в программном продукте SolidWorks, где была получена зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла. Натурные эксперименты и компьютерное моделирование имеют расхождение не более 5%, в результате которых были определены рациональные технологические и эксплуатационные характеристики.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE MIXING PROCESS IN A PNEUMATIC MIXER

Shemetova O.M., Fadin Yu.M.

Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, Belgorod

Keywords: pneumatic mixer, mixing, construction mixtures, mixer, improvement, dry building mixtures, laboratory research.

Abstract. To obtain a high-quality finished product after mixing in an air mixer, after designing it and obtaining a new design that is more efficient than the previously created versions, it is necessary to conduct laboratory studies, as a result of which technological and operational characteristics are determined. Proper planning of experiments makes it possible to reduce the number of experiments without affecting the obtaining of reliable results and to select conditions that optimize the output parameters of the setup. The article discusses a new design of the pneumatic mixer, which allows for intensive mixing of materials, which leads to an increase in the degree of uniformity and, accordingly, to an increase in the quality of the finished product. Laboratory studies are considered that determine the influence of the parameters of the developed design of the pneumatic mixer on the process of mixing dry fine mixtures. Proper planning of experiments and the use of computer simulations make it possible to reduce the number of experiments without affecting the obtaining of reliable results and to select conditions that optimize the output parameters of the setup. With the help of digital simulation, air flows were studied in the SolidWorks software product, where the dependence of the flow rate on the air pressure at the nozzle outlet was obtained. Field experiments and computer simulations have a discrepancy of no more than 5%, as a result of which rational technological and operational characteristics were determined.

Проведенные лабораторные исследования определяют влияние параметров разработанной конструкции пневмосмесителя на процесс перемешивания сухих мелкодисперсных смесей.

Задачами исследования являются определение рациональных конструктивных параметров рассматриваемого устройства, оптимизация процесса смешивания в пневмосмесителе для достижения максимального эффекта процесса пневмосмешения [1, 2].

На рисунке 1 изображена лабораторная установка пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой с техническими характеристиками, указанными в таблице 1.

Пневмосмеситель со спиральной энергонесущей трубкой работает следующим образом [3-5]. Питание пневмосмесителя осуществляется при помощи энергоносителя (сжатого воздуха). Для получения сжатого воздуха использовался компрессор, который оснащен однофазным электродвигателем, реле давления и ресивером. От ресивера по магистрали воздух через сопло подается в узлы пневмосмесителя. Компоненты для перемешивания, подаются в корпус 1 пневмосмесителя для мелкодисперсных сыпучих материалов через загрузочный патрубок 2. В корпусе 1 материал подхватывается энергоносителем, подающимся одновременно с материалом и истекающим из отверстий в спиральной энергонесущей трубке 3 вытянутой вниз в виде усеченного конуса, которая закреплена при помощи держателей 4. За счет вытягивания спиральной энергонесущей трубки 3 конусом вниз увеличивается площадь взаимодействия энергоносителя с компонентами перемешивания в корпусе 1 смесителя перемешивания, что обеспечивает повышение качества готового продукта за счет интенсификации процесса смешивания. В коническом днище 5 создается разрежение, и после цикла перемешивания, готовая смесь выходит через выгрузочный патрубок 6. После смесь проходит через трубу 7 и попадает в бункер 8, где происходит обеспыливание, в следствие чего энергоноситель при помощи вентилятора 9 уходит через патрубок предварительно очищаясь проходя через фильтр 10. Обеспыленная готовая смесь выходит через выходной патрубок бункера (на схеме не показан) и уходит либо далее по технологической линии или упаковывается и отправляется на склад. Пневмосмеситель с бункером установлен на раме 11 [5-7].

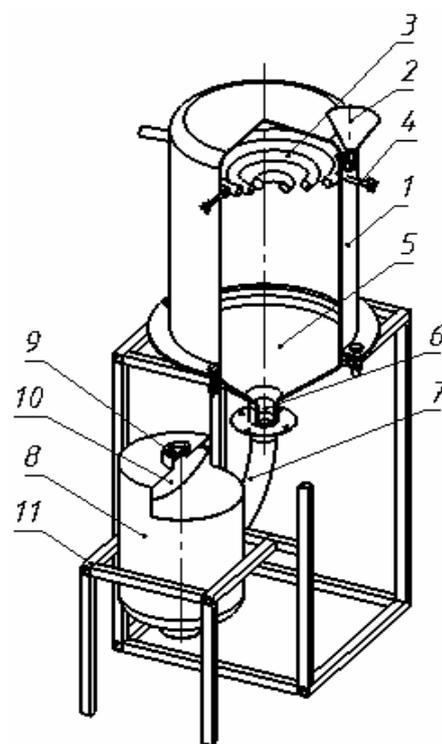


Рис. 1. Пневмосмеситель со спиральной энергонесущей трубкой: 1 – камера, 2 – загрузочный патрубок, 3 – спиральная энергонесущая трубка, 4 – держатели, 5 – коническое днище, 6 – выгрузочный патрубок, 7 – труба, 8 – бункер, 9 – вентилятор, 10 – фильтр, 11 – рама

Табл. 1. Техническая характеристика пневмосмесителя со спиральной энергонесущей трубкой

| № | Характеристика | Размерность | Обозначение | Значение | |
|---|------------------------------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1 | Давление энергоносителя | кПа | P | 100-200 | |
| 2 | Размер частиц исходного материала | мм | d | $\leq 1,5$ | |
| 3 | Производительность | кг/ч | Q | ≤ 20 | |
| 4 | Габаритные размеры камеры смешения | м | -длина | L | 0,260 |
| | | | -ширина | B | 0,260 |
| | | | -высота | H | 0,370 |
| 4 | Габаритные размеры установки | м | -длина | L | 0,700 |
| | | | -ширина | B | 0,500 |
| | | | -высота | H | 0,910 |
| 5 | Масса | кг | m | 10 | |

Исследования зарубежных ученых показали большой потенциал использования вспученного вермикулита в строительных смесях для улучшения их физических и

термических свойств. Разработка такого вяжущего также открывает перспективный путь для разработки экологически чистых строительных материалов, которые снижают потребление энергии в стране, страдающей от острой нехватки источников энергии, и, таким образом, снижают выбросы вредных газов за счет уменьшения тепла, получаемого через наружные стены и верхнее перекрытие строительной конструкции. Вермикулит как наполнитель в растворе дает возможность уменьшить удельный вес и коэффициент теплопроводности, что важно для теплоизоляции. Растворы с вермикулитом можно использовать в качестве хорошего изоляционного материала там, где это необходимо. Строительный раствор обычно используется в строительстве для связывания камней и кирпичей, а также для заполнения пустот в стене и стыков панелей и т.д., и он также используется для инкрустации камней и плитки [8, 9].

Во время проведения лабораторных экспериментальных исследований полученные результаты являются обязательными для подтверждения достоверности аналитических выражений, также они требуются при оценке эффективности процесса смешивания в пневмосмесителе со спиральной энергонесущей трубкой. При помощи полученных данных есть возможность оценивания варьируемых параметров, которые рассматриваются лабораторных исследованиях [10-12]. Для эффективной работы пневмосмесителя основными параметрами, влияющими на его работу являются (табл. 2):

- производительность (Q , кг/ч), которая зависит от времени затрачиваемой на качественное перемешивание, расходной концентрации энергоносителя и объема камеры смешения;
- однородность готовой смеси V_c , %;
- качественные показатели изделия готовой смеси (плотность (ρ , кг/м³) и предел прочности ($\sigma_{сж}$, МПа)).

Табл. 2. Полученные результаты экспериментальных исследований

| № опыта | Варьирование фактора | | | | Исследуемые параметры | | | |
|---------|----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
| | P , кПа | n , шт | ψ , % | H , мм | Q , кг/ч | V_c , % | $\sigma_{сж}$, МПа | ρ , кг/м ³ |
| 1 | 100 | 25 | 60 | 20 | 13,4 | 8 | 35,4 | 1885 |
| 2 | 200 | 25 | 60 | 20 | 13,35 | 9 | 30,75 | 1870 |
| 3 | 100 | 45 | 60 | 20 | 13,7 | 6 | 43,16 | 1925 |
| 4 | 200 | 45 | 60 | 20 | 13,9 | 5 | 51,14 | 1947 |
| 5 | 100 | 25 | 80 | 20 | 13 | 13 | 19,6 | 1820 |
| 6 | 200 | 25 | 80 | 20 | 13,02 | 11 | 22,3 | 1824 |
| 7 | 100 | 45 | 80 | 20 | 14,65 | 1 | 43,18 | 2052 |
| 8 | 200 | 45 | 80 | 20 | 13,5 | 8 | 36,35 | 1890 |
| 9 | 100 | 25 | 60 | 40 | 12,8 | 12 | 18,13 | 1796 |
| 10 | 200 | 25 | 60 | 40 | 12,2 | 16 | 12,48 | 1720 |
| 11 | 100 | 45 | 60 | 40 | 13,25 | 9 | 21,65 | 1857 |
| 12 | 200 | 45 | 60 | 40 | 13,5 | 8 | 45,47 | 1895 |
| 13 | 100 | 25 | 80 | 40 | 10,3 | 37 | 64,13 | 1453 |
| 14 | 200 | 25 | 80 | 40 | 12,7 | 27 | 55,4 | 1705 |
| 15 | 100 | 45 | 80 | 40 | 15,2 | 9 | 49 | 2129 |
| 16 | 200 | 45 | 80 | 40 | 15,4 | 7 | 51,2 | 2159 |
| 17 | 50 | 35 | 70 | 30 | 15,1 | 9 | 40,8 | 2113 |
| 18 | 250 | 35 | 70 | 30 | 14,8 | 10 | 32,17 | 2081 |
| 19 | 150 | 15 | 70 | 30 | 16,6 | 1 | 49,3 | 2329 |
| 20 | 150 | 55 | 70 | 30 | 15,3 | 8 | 40,4 | 2151 |
| 21 | 150 | 35 | 50 | 30 | 15,8 | 4 | 52,34 | 2225 |
| 22 | 150 | 35 | 90 | 30 | 14,1 | 3 | 24,4 | 1970 |
| 23 | 150 | 35 | 70 | 10 | 14 | 4 | 25,7 | 1963 |

Табл. 2. Продолжение

| № опыта | Варьирование фактора | | | | Исследуемые параметры | | | |
|---------|----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
| | P , кПа | n , шт | ψ , % | H , мм | Q , кг/ч | V_c , % | $\sigma_{см}$, МПа | ρ , кг/м ³ |
| 24 | 150 | 35 | 70 | 50 | 14,6 | 1 | 26,7 | 2041 |
| 25 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,8 | 5 | 31,67 | 1943 |
| 26 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,7 | 6 | 31,19 | 1913 |
| 27 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,7 | 6 | 31,05 | 1915 |
| 28 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,3 | 6 | 32,3 | 1871 |
| 29 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,6 | 7 | 35,55 | 1902 |
| 30 | 150 | 35 | 70 | 30 | 13,7 | 6 | 29,4 | 1922 |
| 31 | 150 | 35 | 70 | 30 | 14,1 | 3 | 31,7 | 1975 |

Так же с помощью исследования потоков воздуха электронно-цифровой модели пневмосмесителя в программном продукте CAE мы получили зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла представленной на рисунке 2.

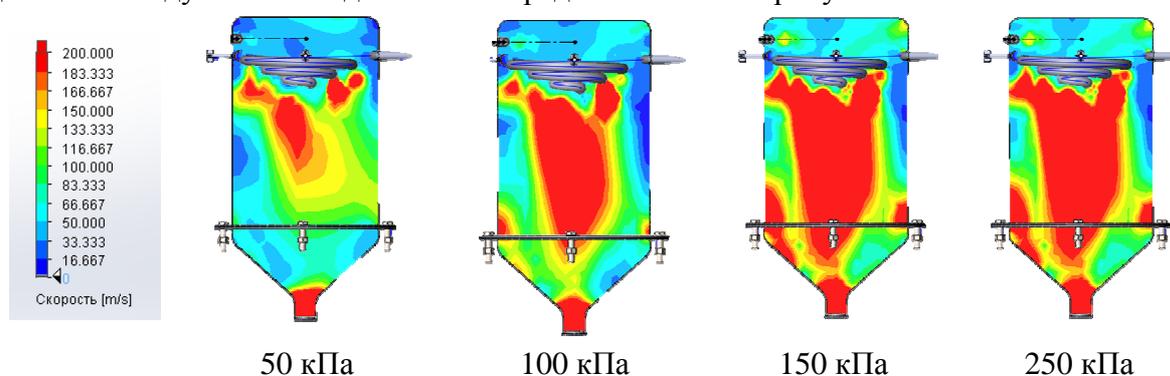


Рис. 2. Зависимость скорости потока от давления воздуха на выходе из сопла

Анализируя зависимость можно сделать вывод, что увеличение давления при подаче энергоносителя в камеру смешения влияет на скорость истечения его из отверстия из энергоносительной трубки и при увеличении расхода энергоносителя. При каждом увеличении расхода энергоносителя на 50 кПа скорость потока равномерно увеличивается по объему камеры смешения, но при этом идет сильное увеличение перерасхода энергоносителя, что ведет к увеличению энергетических затрат, при сохранении того же качества готовой смеси. При уменьшении расхода энергоносителя в камере смешения теряется скорость потока, что ведет к снижению качества перемешивания (рис. 2), это подтверждает и натурный лабораторный эксперимент.

А также была проведена зависимость скорости потока от количества отверстий на спирали (рис. 3).

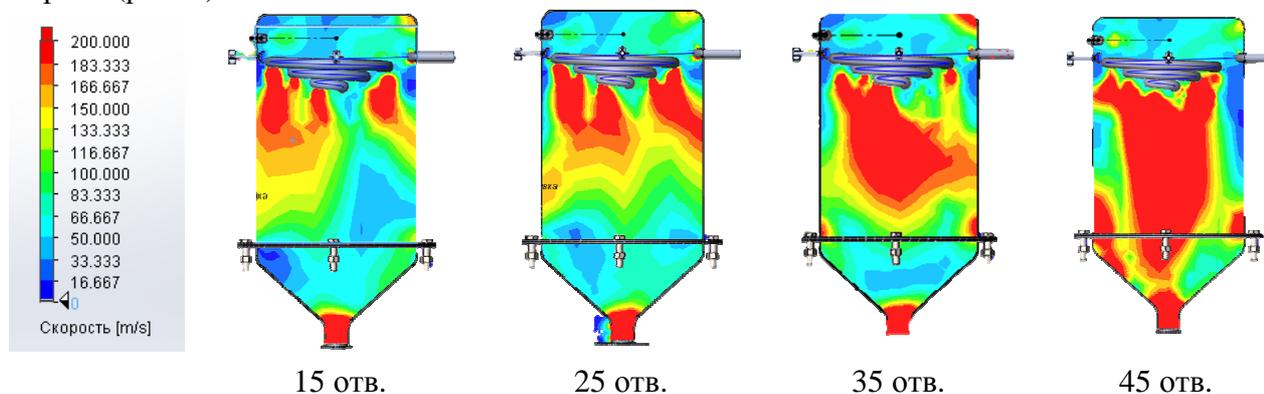


Рис. 3. Зависимость скорости потока от количества отверстий на спирали

Анализируя данную зависимость, можно сделать вывод, что увеличение количества отверстий на спиральной энергоносущей трубке значительно увеличивает расход энергоносителя, а значит, увеличиваются и энергетические расходы. И при значительном увеличении количества отверстий, перекрестные потоки энергоносителя перебивают друг друга, и снижается эффективность процесса смешения. С уменьшением количества отверстий на спиральной трубке будет происходить снижение качества готовой смеси за счет ослабления потоков энергоносителя (рис. 3), что подтверждает лабораторный эксперимент.

Выводы. Для определения качества смешения материала в пневмосмесителе необходимо проведение исследований в лабораторных условиях, в результате которых можно будет определить технологические и эксплуатационные характеристики. Планирование экспериментов позволяет использовать наименьшее число необходимых опытов с условиями которые оптимизируют выходные параметры установки.

Список литературы

1. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Основные процессы в производстве строительных материалов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 551 с.
2. Шеметова О.М., Фадин Ю.М. Сухие строительные смеси и смесительное оборудования для их производства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – №12. – С. 145-150.
3. Кондаков А.И. САПР технологических процессов. – М.: Изд. центр "Академия", 2010. – 272 с.
4. Несмеянов Н.П., П.С. Горшков. Смесители для производства ССС // Межвузовский сборник статей. Энергосберегающие строительные комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: БГТУ, 2009. – С. 176-180.
5. Fadin Yu.M., Shemetova O.M., Voronov V.P., Shemetov E.G. Pneumatic mixer with a spiral energy-carrying tube // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. 2021. P. 333-339.
6. Патент №204403 РФ. Пневмосмеситель для сыпучих материалов со спиральной энергоносущей трубкой / Фадин Ю.М., Воронов В.П., Шеметова О.М., Шеметов Е.Г., Лазько Е.В. – Заявка №2020136892 от 10.11.2020; опубл. 10.11.2020, Бюл. №15.
7. Шеметова О.М., Фадин Ю.М., Богданов В.С. Получение однородных мелкодисперсных смесей в пневмосмесителе // СТИН. – 2022. – №3. – С. 22-24.
8. Богданов, В.С., Бражник Ю.В., Несмеянов Н.П., Горшков П.С. Пути увеличения степени однородности сухих строительных смесей с целью формирования максимального их качества // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – №4. – С. 62-64.
9. Демин О.В. Экспериментальное исследование процесса смешения сыпучих материалов в смесителях // VI научная конференция. – Тамбов: Изд-во Тамбовский государственный технический университет, 2001. С. 204.
10. Чемеричко Г.И., Анциферов С.И., Пахотин Е.Г. Анализ современного рынка оборудования для производства сухих строительных смесей // Образование, наука, производство. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 1585-1588.
11. Томченко К.А. Дозирование в технологии производства сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. – 2009. – №5-6. – С. 48-51.
12. Chatterjee S. Regression Analysis by Example (5th Edition). 2013. 424 p.

References

1. Bogdanov V.S., Ilyin A.S., Semikopenko I.A. The main processes in production of building materials. – Belgorod: Publ. house of BSTU, 2008. – 551 p.
2. Shemetova O.M., Fadin Yu.M. Dry building mixes and mixing equipment for their production // Bulletin of the Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov. 2020, no. 12, pp. 145-150.
3. Kondakov A.I. CAD of technological processes. – M.: Publ. centre "Academy", 2010. – 272 p.
4. Nesmeyanov N.P., P.S. Gorshkov. Mixers for the production of dry mortar // Interuniversity collection of articles. Energy-saving building complexes and equipment for the production of building materials. – Belgorod: BSTU, 2009. – P. 176-180.
5. Fadin Yu.M., Shemetova O.M., Voronov V.P., Shemetov E.G. Pneumatic mixer with a spiral energy-carrying tube // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. 2021. P. 333-339.
6. Patent No. 204403 RU. Pneumatic mixer for bulk materials with a spiral energy-carrying tube / Fadin Yu.M., Voronov V.P., Shemetova O.M., Shemetov E.G., Lazko E.V. – Application No. 2020136892 from 10.11.2020; publ. 10.11.2020, Bull. No. 15.
7. Shemetova O.M., Fadin Yu.M., Bogdanov V.S. Obtaining homogeneous fine mixtures in a pneumatic mixer // STIN. 2022, no. 3, pp. 22-24.

8. Bogdanov V.S., Brazhnik Yu.V., Nesmeyanov N.P., Gorshkov P.S. Ways to increase the degree of homogeneity of dry building mixtures in order to form their maximum quality // Bulletin of the Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov. 2013, no. 4, pp. 62-64.
9. Demin O. V. Experimental study of the process of mixing bulk materials in mixers // VI scientific conference. – Tambov: Publ. house Tambov state technical university, 2001. – P. 204.
10. Chemerichko G.I., Antsiferov S.I., Pakhotin E.G. Analysis of the modern market for equipment for the production of dry building mixes // Education, science, production. – Belgorod: Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 2015. – P. 1585-1588.
11. Tomchenko K.A. Dosing in the production technology of dry building mixtures // Dry building mixtures. 2009, no. 5-6, pp. 48-51.
12. Chatterjee S. Regression Analysis by Example (5th Edition). 2013. 424 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

| | |
|---|---|
| Фадин Юрий Михайлович – кандидат технических наук, профессор | Fadin Yuri Mikhailovich – candidate of technical sciences, professor |
| Шеметова Ольга Михайловна – аспирантка olga95kizilova@gmail.com | Shemetova Olga Mikhailovna – post-graduate student |

Получена 04.09.2022