УДК 621.926.9
DOI: 10.35211/1990-5297-2026-8-315-81-86

Научная статья
Original article

Н. А. Прохоренко, О. А. Залипаева, Н. А. Мевша

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СУШИЛКИ

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

✉ Наталья Андреевна Прохоренко, natasha292009@yandex.ru

Аннотация. Разработана автоматизированная конструкция пневматической сушилки, использование которой в промышленности приведет к росту производительности за счет создания благоприятных условий для высушивания исходного влажного материала с высокой адгезией. Внутри аппарата происходит создание противоточного движения встречно-закрученных потоков, что позволяет обрабатывать материалы с повышенной адгезионной способностью, кусковые и агрегированные материалы, а также ряд продуктов тонкопористой структуры.

Ключевые слова: сушка, энергоэффективность, пневматическая сушилка, влажность, пищевая соль, адгезия, влагосодержание, повышение качества

Для цитирования: Прохоренко Н. А., Залипаева О. А., Мевша Н. А. Разработка и расчет автоматизированной конструкции пневматической сушилки. Известия ВолгГТУ. 2026; 8(315): 81–86. DOI: 10.35211/1990-5297-2026-8-315-81-86.

Наталья Андреевна Прохоренко – доцент, канд. техн. наук, кафедра ПАХПП ВолгГТУ
orcid.org/0000-0002-5706-1475
e-mail: natasha292009@yandex.ru
Ольга Александровна Залипаева – доцент, канд. техн. наук, кафедра ПАХПП ВолгГТУ
orcid.org/0000-0002-9345-2625
e-mail: zalipaevaolga@yandex.ru
Наталия Алексеевна Мевша – старший преподаватель кафедры ПЭБЖ ВолгГТУ
orcid.org/0000-0002-6658-8623
e-mail: seleznyova1994@yandex.ru

Вклад авторов:

Н. А. Прохоренко – проведение расчетов, участие в обсуждении результатов, разработка модернизируемой конструкции.

О. А. Залипаева – обсуждение результатов полученных расчетов.

Н. А. Мевша – участие в обсуждении результатов, написание текста статьи.

N. A. Prokhorenko, O. A. Zalipaeva, N. A. Mevsha

DEVELOPMENT AND CALCULATION OF AN AUTOMATED DESIGN OF A PNEUMATIC DRYER

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

✉ Natalya A. Prokhorenko, natasha292009@yandex.ru

Abstract. An automated pneumatic dryer design has been developed. Its industrial use will lead to increased productivity by creating favorable conditions for drying the initial wet material. The unit creates a counter-current flow of counter-swirling streams, enabling the processing of materials with increased adhesive properties, lumpy and aggregated materials, as well as a range of fine-pored products.

Keywords: drying, energy efficiency, pneumatic dryer, humidity, table salt, adhesion, moisture content, quality improvement

---

© Прохоренко Н. А., Залипаева О. А., Мевша Н. А., 2026.

For citation: Prokhorenko N. A., Zalipaeva O. A., Mevsha N. A. Development and calculation of an automated design of a pneumatic dryer. Izvestiya VSTU. 2026; 8(315): 81–86. DOI: 10.35211/1990-5297-2026-8-315-81-86.

Information about the authors:

Natalya A. Prokhorenko – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Department of Industrial Chemical Engineering VSTU

orcid.org/0000-0002-5706-1475

e-mail: natasha292009@yandex.ru

Olga A. Zalipaeva – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Department of Industrial Chemical Engineering VSTU

orcid.org/0000-0002-9345-2625

e-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Nataliya A. Mevsha – Senior Lecturer, Department of Industrial Ecology and Life Safety VSTU

orcid.org/0000-0002-6658-8623

e-mail: seleznyova1994@yandex.ru

Contributions of the authors:

Natalya A. Prokhorenko – conducting calculations, participating in the discussion of results, developing a modernized design.

Olga A. Zalipaeva – discussion of the results of the obtained calculations.

Nataliya A. Mevsha – participation in the discussion of the results, writing the text of the article.

Введение

Процессы сушки распространены в химической, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности. Применение процесса сушки в пищевой промышленности заключается в удалении влаги из сырья или продуктов с целью увеличения срока хранения, упрощения транспортировки, а также получения новых продуктов с измененными свойствами. Области применения пневматических сушилок следующие: сушка мелкодисперсного материала (соль, сухие растительные экстракты, отходы сельскохозяйственных культур); сушка зерновых культур и круп; сушка минеральных суспензий [1].

Целью работы является разработка автоматизированной конструкции пневматической трубы-сушилки, используемой при сушке мелкодисперсного материала.

Материалы и методы исследования

Распространенными проблемами при работе пневматической трубы-сушилки являются: повышенные удельные расходы энергии; опасность взрыва; износ оборудования; налипание сыпучего материала на стенки аппарата сушилки [2].

На рисунке 1 представлена технологическая схема производства пищевой соли. Влажная соль из вагона отправляется в корытную мойку, после чего происходит первый этап дробления, а после прохождения гидроциклона идет второй этап дробления.

Затем влажная соль отправляется на сушку в пневматической трубе-сушилке, а после очистки в циклоне соль поступает на завершающий этап дробления, откуда сухой готовый продукт уходит на фасовку.

В настоящее время разрабатываются сушильные камеры с автоматизированным управлением и контролем.

Модернизация может включать разделение рабочего пространства на зоны, установку новых узлов управления калорифером, циркулярных насосов, автоматику управления, приточно-вытяжную вентиляцию и другое оборудование.

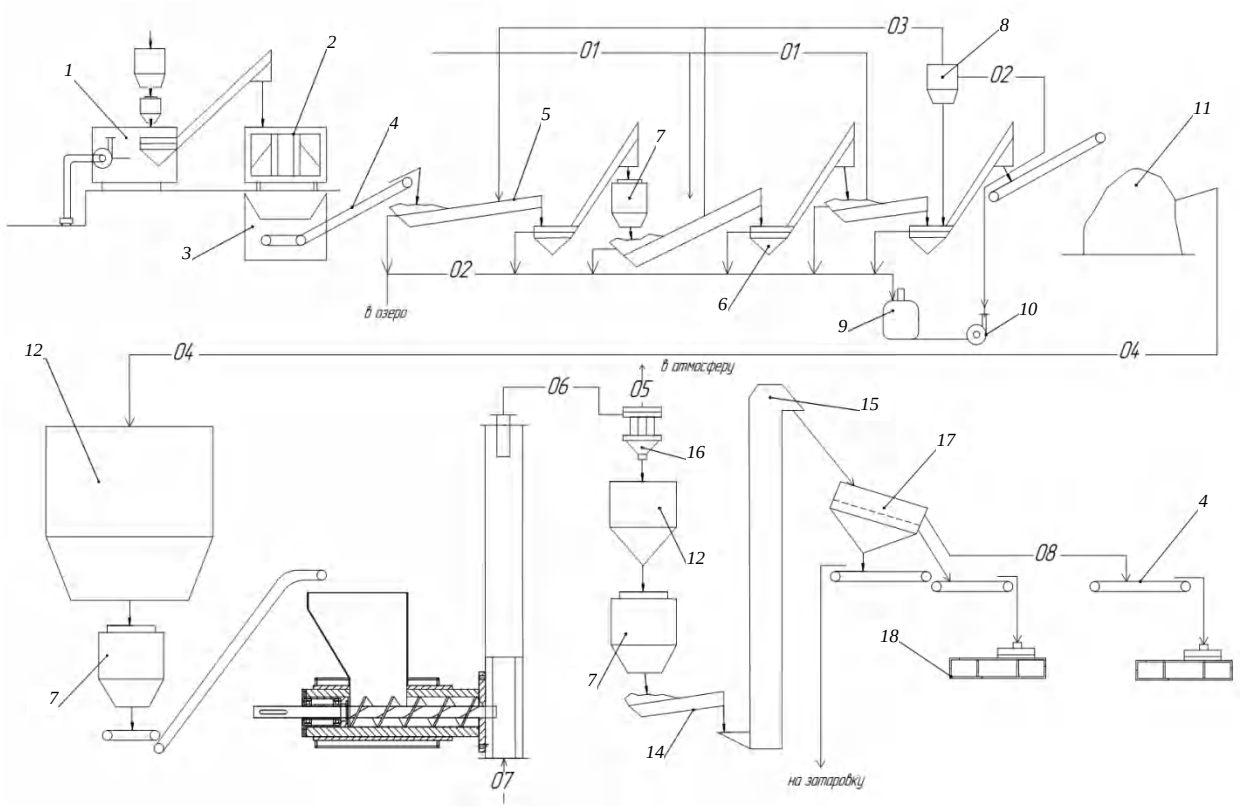


Рис. 1. Технологическая схема переработки пищевой соли [1]:
1 – солекомбайн; *2* – вагон; *3* – завальная яма; *4* – ленточный конвейер; *5* – выгрузочное устройство корытная мойка; *6* – ковшовый элеватор; *7* – дробилка; *8* – гидроциклон; *9* – емкость с мешалкой; *10* – насос; *11* – бугор соли; *12* – бункер; *13* – сушилка; *14* – винтовой конвейер; *15* – элеватор; *16* – циклон; *17* – грохот; *18* – фасовочный автомат

На рисунке 2 представлен общий вид работы существующей конструкции пневмосушилки. Влажный материал подается распределительным коллектором в нижнюю секцию сушильной камеры. После чего поток ненагретого атмосферного воздуха (или подогретого газа) подхватывает сыпучий материал и транспортирует его вверх по камере. В процессе движения материал высушивается, попадает в выходной патрубок, где частицы выпадают из газового потока в циклоне, а газ выводится в систему на дальнейшую очистку [3; 4].

В качестве объекта управления при автоматизации процесса сушки рассмотрим пневматическую трубу-сушилку с системой очистки, в которой сушильным агентом служат дымовые газы. Показателем эффективности данного процесса является влажность материала, выходящего из сушилки, а целью управления – поддержание этого параметра на определенном значении. Основной регулируемой величиной является температура материала на выходе из выпускной воронки сушилки (рег. *4*), который вносит регулирующие воздействия с изменением расхода сушильного агента (рег. *3*). Температура воздуха на входе в барабан регулируется изменением расхода теплоносителя, подаваемого в воздухоподогреватель (рег. *1*), а влажность – изменением расхода циркулирующего воздуха (рег. *2*).

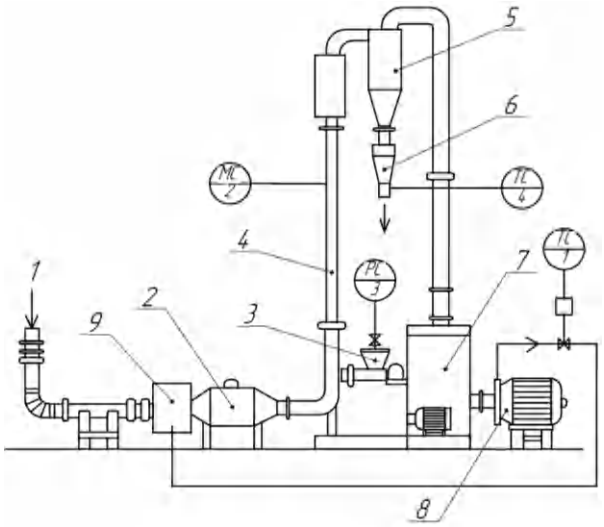


Рис. 2. Общий вид пневматической трубы-сушилки [1]:
1 – входной патрубок; *2* – камера смешения; *3* – распределительный коллектор; *4* – сушильная камера; *5* – циклон;*6* – выпускная воронка; *7* – вентилятор; *8* – приводной электродвигатель вентилятора; *9* – запорная арматура

Основной проблемой вышеописанного процесса проведения сушки, является налипание влажного материала на внутреннюю поверхность стенки сушильной камеры из-за адгезионно-когезионных свойств высушиваемого материала [1].

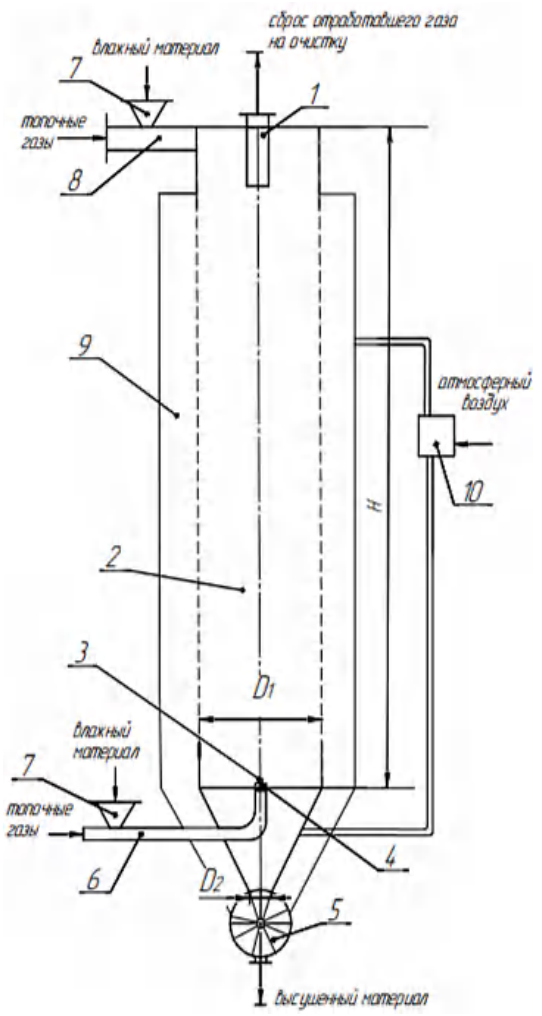


Рис. 3. Схема разработанной пневматической трубы-сушилки со встречно закрученными потоками [4]:
1 – выхлопная труба; *2* – сушильная камера; *3* –завихритель; *4* – отбойная шайба; *5* – выгрузочное устройство; *6* – газоподводящая труба первого потока теплоносителя; *7* – питатель; *8* – тангенциальный газоввод второго потока; *9* – обечайка с перфорацией; *10* – тягодутьевое оборудование

На рисунке 3 представлена разработанная конструкция сушилки, которая имеет следующие преимущества: позволяет обрабатывать материалы с повышенной адгезионной способностью за счет использования обечайки с перфорацией; использовать в процессе сушки кусковые и агрегированные материалы и ряд продуктов тонкопористой структуры; увеличивать интенсивность сушки высушиваемых частиц за счет подачи двух потоков горячих теплоносителей; повысить производительность за счет встречно закрученного потока.

Влажный дисперсный материал образует с подаваемым в сушильную камеру теплоносителем газовзвесь, которая закручивается лопаточным или тангенциальным завихрителем. Причем первый закрученный поток газовзвеси из газоподводящей трубы направлен вверх по центральной части пневмосушилки, а второй поток из газоввода, закрученный в ту же сторону, направлен вниз.

Частицы дисперсного материала из внутреннего потока под действием центробежных сил отбрасываются к периферии пневмосушилки и транспортируются вторым потоком в нижнюю часть сушильной камеры, откуда удаляются выгрузочным устройством.

Через тягодутьевое оборудование подается воздух в полость обечайки с перфорацией, за счет чего удаляются все налипшие частицы во внутреннюю полость сушильной камеры [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведем расчет технологических параметров предлагаемой конструкции пневматической трубы-сушилки.

На сушку в сушильную камеру подается пищевая соль.

Для удобства основные исходные данные и расчетные параметры сведем в таблицу [3].

Результаты расчета предлагаемой конструкции пневматической сушилки, используемой для сушки пищевой соли

Наименование параметра	Размерность	Величина
Исходные данные		
Начальная производительность по влажному материалу, $G_н$	кг/ч	2000
Начальная влажность материала на входе, $w_{н1}$	кгW/кгG	0,06
Конечная влажность материала на выходе, $w_{к1}$	кгW/кг$C_к$	0,002
Температура воздуха, t_0	ºС	25
Относительная влажность окружающего воздуха, φ_0	–	0,5

Окончание таблицы

Наименование параметра	Размерность	Величина
Температура воздуха на входе в сушилку, t_1	°С	200
Температура воздуха на выходе из сушилки, t_2	°С	75
Диаметр частиц, $d_к$	м	0,001
Плотность частиц, $\rho_к$	кг/м^3	2165
Коэффициент теплопроводности, λ_0	Вт/м·град	0,0244
Расчетные параметры		
Производительность по удаляемой влаге из частиц, W	кг/ч	115,9
Производительность по высушенному материалу, $G_к$	кг/ч	1884
Относительная массовая влажность материала на входе в трубу-сушилку, $\omega_н$	кг/кг	0,063
Относительная массовая влажность материала на выходе из трубы-сушилки, $\omega_к$	кг/кг	0,002
Производительность по абсолютно сухим частицам, G	кг/ч	1927,6
Температура частиц на выходе, $t_{тк}$	°С	74,5
Относительные расход, $L_{ст}$	кг/кг	1,33
Число Архимеда, Ar	–	36383,87
Производительность по частицам, $F_к$	м^3/с	1,64
Число Нуссельта, Nu	–	10,56
Средняя движущая сила процесса теплопередачи, Δt_t	°С	29,78
Среднее время пребывания частиц, τ_t	с	6,7
Скорость уноса частиц высушиваемого материала, $\upsilon_у$	м/с	7,43
Средняя скорость воздуха в трубе-сушилке, $\upsilon_в$	м/с	8,92
Число Рейнольдса для скорости начала псевдоожижения, Re_0	–	15,4
Скорость воздуха для начала псевдоожижения, υ_0	м/с	0,401
Средний расход влажного воздуха в трубе-сушилке, $L_с$	кг/ч	1463
Расчетный диаметр трубы-сушилки, D_{yt}	м	0,31
Объем трубы-сушилки, рассчитанный с учетом теплопередачи, V_{at}	м^3	0,78
Высота трубы-сушилки, рассчитанная с учетом теплопередачи, H_{gt}	м	9,98

Выводы

Разработана автоматизированная конструкция пневматической трубы-сушилки, которая может найти применение в производстве пищевой соли. За счет адгезионно-когезионных свойств высушиваемых материалов значительно усложняется процесс сушки: происходит налипание материала на внутренние стенки сушильного аппарата, из-за чего впоследствии проходное сечение сушильной камеры уменьшается, что требует регулярной механической очистки аппарата. Выполнение сушильной камеры, объединенной с перфорированной обечайкой, позволяет непрерывно подавать поток воздуха с помощью тягодутьевого устройства. В результате проведенного сравнительного расчета были получены уменьшенные геометрические размеры сушильной камеры, работающей с одинаковой производительностью: диаметр изменяется с 0,4 м до 0,31 м, а высота с 12,1 м до 9,98 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Лыков, А. В.* Сушка в химической промышленности / проф. А. В. Лыков. – Москва : Химия, 1970. – 432 с.

2. *Членов, В. А.* Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – Москва : Стройиздат, 1967. – 224 с.

3. *Сиденко, П. М.* Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – 2-е изд., перераб. – Москва : Химия, 1977. – 368 с.

4. Моделирование и расчет пневматической трубы-сушилки с учетом продольной диффузии по сушильному агенту / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, Н. А. Прохоренко, А. А. Шурак, М. В. Топилин // Химическая технология. – 2025. – Т. 26, № 9. – С. 350–360. – DOI: 10.31044 / 1684-5811-2025-26-9-350-360.

5. *Прохоренко, Н. А.* Расчет и интенсификация работы пневматической сушилки / Н. А. Прохоренко, Т. С. Бондаренко // Вестник научных конференций. – 2026. – № 1–1 (125). – С. 87–89.

REFERENCES

1. *Lykov, A. V.* Drying in the chemical industry / prof. A.V. Lykov. Moscow : Khimiya Publ., 1970. 432 p.

2. *Chlenov, V. A.* Drying of bulk materials in a vibrating boiling layer / V. A. Chlenov, N. V. Mikhailov. – Moscow : Stroyizdat, 1967. – 224 p.

3. *Sidenko, P. M.* Grinding in the chemical industry / P. M. Sidenko. – 2nd ed., reprint. Moscow : Khimiya Publ., 1977. – 368 p.

4. Modeling and calculation of a pneumatic drying tube taking into account longitudinal diffusion by a drying agent / A. B. Golovanchikov, N. A. Metentsov, N. A. Prokhorenko, A. A. Shurak, M. V. Topilin // Chemical Technology. – 2025. – Vol. 26, No. 9. – C. 350–360. – DOI: 10.31044 / 1684-5811-2025-26-9-350-360.

5. *Prokhorenko, N. A.* Calculation and intensification of the pneumatic grinder / N. A. Prokhorenko, T. S. Bondarenko // Bulletin of scientific conferences. – 2026. – № 1–1 (125). – Pp. 87–89.

Статья поступила в редакцию 15.06.2026, доработана 01.07.2026, подписана в печать 15.07.2026
The article was submitted 15.06.2026, revised 01.07.2026, accepted for publication 15.07.2026