
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 66.074.5; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-206-215

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

✉ Николаева Лариса Андреевна;

Сабашева Аделина Рустамовна;

Котляр Мирослава Николаевна.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

✉ Larisanik16@mail.ru

Аннотация. Загрязнение атмосферы вредными веществами в ходе антропогенной деятельности человека представляет собой насущную проблему современного промышленного производства. Зерноперерабатывающие предприятия здесь не являются исключением и характеризуются негативным воздействием на экологическую обстановку прилегающей территории. Соответствующие хозяйствующие субъекты в процессе эксплуатации элеваторных комплексов при работе зерносушилок активно выделяют опасные для здоровья людей газовые частицы, уменьшению количества выбросов которых способствует технологическое внедрение специальных систем очистки.

Рассмотрены методы адсорбционной очистки топочных газовых выбросов от оксида углерода и оксида азота. В качестве сорбционного материала предлагается использовать отход предприятия переработки и хранения растительного сырья – зерновой отход. В ходе исследования была изучена характеристика предприятия, произведены технологические расчеты оборудования. Предложена новая схема для эффективной очистки газовых выбросов, которая поможет снизить концентрацию диоксида углерода и оксидов азота. Проведен расчет, чтобы определить необходимый расход сорбционного материала для достижения требуемой остаточной концентрации данных вредных веществ, оценен предотвращенный экологический вред окружающей среде при внедрении технологии очистки газовых выбросов зерновым отходом.

Ключевые слова: адсорбция, оксид азота, оксид углерода, зерновой отход, очистка газовых выбросов, адсорбент, элеватор

Для цитирования: Николаева Л.А., Сабашева А.Р., Котляр М.Н. Модернизация системы очистки газовых выбросов на предприятиях переработки и хранения растительного сырья // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 4 (68). С. 206–215. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-206-215.

Scientific article

MODERNIZATION OF GAS EMISSION PURIFICATION SYSTEM AT PLANTS FOR PROCESSING AND STORAGE OF VEGETABLE RAW MATERIALS

✉Nikolaeva Larisa A.;

Sabasheva Adelina R.;

Kotlyar Miroslava N.

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

✉Larisanik16@mail.ru

Abstract. Atmospheric pollution by harmful substances in the course of anthropogenic human activity is an urgent problem of modern industrial production. Grain processing enterprises are not an exception here and are currently characterized by a negative impact on the environmental security of our country. Relevant economic entities in the process of operation of elevator complexes in the operation of grain dryers actively emit hazardous to human health gas particles, reducing the number of emissions of which contributes to the technological implementation of special purification systems.

In this work methods of adsorption purification of furnace gas emissions from carbon monoxide and nitrogen oxide are considered. As a sorption material it is proposed to use the waste of the enterprise of processing and storage of vegetable raw materials – grain waste. In the course of the study was studied the characteristics of the enterprise, made technological calculations of equipment. A new scheme for effective purification of gas emissions has been proposed, which will help reduce the concentration of carbon dioxide and nitrogen oxide. A calculation was carried out to determine the necessary consumption of sorption material to achieve the required residual concentration of these harmful substances, the prevented environmental damage to the environment was assessed when introducing the technology of cleaning gas emissions with grain waste.

Keywords: adsorption, nitrogen oxide, carbon oxide, grain waste, gas emissions purification, adsorbent, elevator

For citation: Nikolaeva L.A., Sabasheva A.R., Kotlyar M.N. Modernization of gas emission purification system at plants for processing and storage of vegetable raw materials // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 4 (68). P. 206–215. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-4-206-215.

Введение

Общеизвестно, что атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды. Загрязнение поверхностного слоя атмосферы влияет на растения, животных, микроорганизмы, качество жизни человека, функционирование экосистем и биосферы в целом.

К основным причинам загрязнения воздуха относят сжигание отходов, углеводородного топлива, угля и нефти на предприятиях и электростанциях. Твердые частицы являются одним из ключевых компонентов загрязнения воздуха. Кроме того, опасность последних заключается еще в том, что они оседают в органах дыхания людей и животных, вызывая заболевания дыхательной, сердечно-сосудистой системы, онкологию, поэтому снижение количества их выбросов в атмосферу – важная задача в сфере экологической безопасности [1].

Существует множество способов уменьшения эмиссии вредных частиц, однако наиболее эффективными принято считать методы контроля за веществами, выделяющимися при сжигании топлива. В рамках данной работы, посвященной технологической модернизации элеватора, особый интерес представляют методы очистки газовых выбросов

с применением растительного сырья в качестве вторичных материальных ресурсов. Выбранному тематическому направлению в отечественной науке посвящено незначительное количество публикаций [2–4], в связи с чем рассматриваемые в статье пути усовершенствования систем очистки газовых выбросов путем установки блока адсорбционной очистки являются актуальными. Целью исследования является: произвести технологические расчеты оборудования, предложить схему очистки топочных газовых выбросов, осуществить расчет расхода сорбционного материала для получения требуемой остаточной концентрации оксидов углерода и азота, а также оценить предотвращенный экологический вред окружающей среде.

Материалы и методы исследования

Главными предприятиями, занимающимися переработкой зерна, являются элеваторы, мельницы, крупозаводы, заводы по производству комбикормов, силосные хранилища и предприятия по производству семенного зерна. Все эти заводы и предприятия выполняют различные производственные процессы, используя специальное технологическое оборудование. Оно предназначено для очистки, сушки, дробления зерна и продуктов его переработки, а также для транспортировки и хранения.

Диоксид углерода и оксиды азота активно выделяются при работе зерносушилок. Они оказывают токсическое воздействие на людей и влияют на загрязнение атмосферы [5–7]. Выбросы диоксида углерода и оксидов азота способствуют формированию атмосферного смога и образованию кислотных дождей, что негативно влияет на экосистемы и водные ресурсы. Кроме того, выбросы оксидов азота влияют на состояние озонового слоя, который необходим для защиты от опасного ультрафиолетового излучения [8, 9].

Поскольку обозначенные вещества оказывают чрезмерное влияние на атмосферу, важно более детально рассмотреть современные методы их очистки.

Элеваторы являются ключевыми звеньями в зерноперерабатывающей отрасли. Они предназначены для приема, хранения и отгрузки зерна. Он вмещает в себя от 50 до 150 тыс. т зерна. Предприятия располагают на расстоянии не менее 200 м от жилых домов [10]. На рис. 1 представлен внешний вид элеватора.



Рис. 1. Внешний вид элеватора

Правилами организации и ведения технологического процесса на элеваторах предусмотрены следующие этапы технологического процесса: приемка сырья, снятие проб для последующего проведения необходимых анализов зерна, предварительная очистка сырья от примесей, сушка влажного зерна, закладка на хранение, промышленная переработка зернопродуктов, производство сельскохозяйственной продукции и ее переработка, отпуск на железнодорожный и автомобильный транспорт [11].

Исследуемая организация охватывает следующие объекты: здание элеватора с рабочими помещениями, силосы для хранения, автомобильные и железнодорожные весы для приема сырья, лаборатория для анализа, зерносушилка, мельница для переработки, цех для производства муки, административный корпус, водоемы для противопожарных целей, насосные станции и газораспределительные пункты. Технологическая схема предприятия представлена на рис. 2.

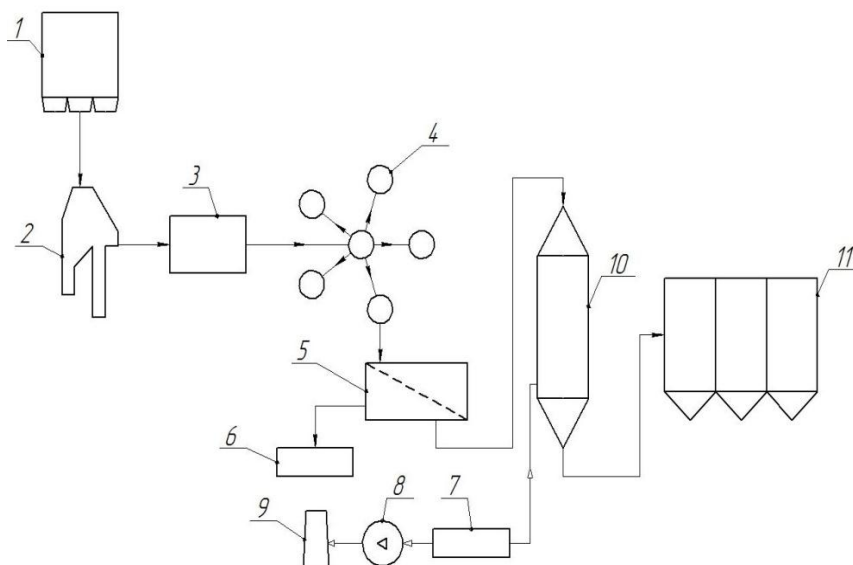


Рис. 2. Технологическая схема предприятия до модернизации:
 1 – приемный бункер; 2 – нория; 3 – автоматические весы;
 4 – распределительные круги; 5 – сепаратор; 6 – отходы; 7 – топка;
 8 – насос; 9 – труба; 10 – зерносушилка; 11 – силос

Прием зерна осуществляется с автомобильного и железнодорожного транспорта, затем по конвейеру из приемных бункеров оно направляется норией, после чего взвешивается на автоматических весах и через распределительные круги, в зависимости от влажности и содержания примеси, направляется на последующую обработку. Для отделения примесей и разделения на фракции зерно поступает на сепараторы. Влажное и сырое зерно после машин предварительной очистки отправляется на сушку в зерносушилку, а отходы вывозятся специальной организацией за определенную плату на полигон твердых коммунальных отходов.

Очищенное сырье, доведенное до базисных кондиций с содержанием влаги 14 % и содержанием сорной примеси не более одного процента, направляется для закладки на хранение в силосы. Качество зерна контролируется по влажности.

Важно отметить, что на представленном элеваторе для сушки зерновых и масличных культур установлена зерносушилка типа ДСП-50, которая имеет шахтное строения и относится к аппаратам непрерывного действия открытого типа. Она получила широкое распространение в отечественной элеваторной промышленности в первую очередь ввиду высокой производительности.

Зерносушилка ДСП-50 работает в двух режимах топки: на газообразном топливе и на воздушной смеси с топочными газами. Нельзя не упомянуть, что сушильный аппарат имеет две вертикальные шахты и шкаф управления. Также в него входят охладитель, вентилятор, теплообменник, нория и топка. Размеры шахты зерносушилки ДСП-50 имеют следующую характеристику: 13275x3770x1200 мм. Первая зона сушки имеет высоту 4 700 мм, вторая зона и зона охлаждения зерна – соответственно 3 000 мм и 4 700 мм. Количество рядов коробов в камере нагрева равно 38, в то время как в камере охлаждения – 19. Важно отметить, что каждый нечетный ряд содержит 19 коробов, а каждый четный – 18, с двумя полукоробами

в дополнение. Это существенно влияет на уменьшение толщины слоя зерна, который подлежит продуванию. Топка данной зерносушилки состоит из двух камер, двух циклонов и камеры смешения.

Сырье из оперативного буфера смешивается с подсушенным и нагретым зерном и поступает в надсушильный бункер, а далее – в первую сушильную шахту и в теплообменник. Зерно в обязательном порядке проходит три зоны контроля температуры. Будучи высушенным, зерно направляется в силосы. Конструкция зерносушилки ДСП-50 представлена на рис. 3.

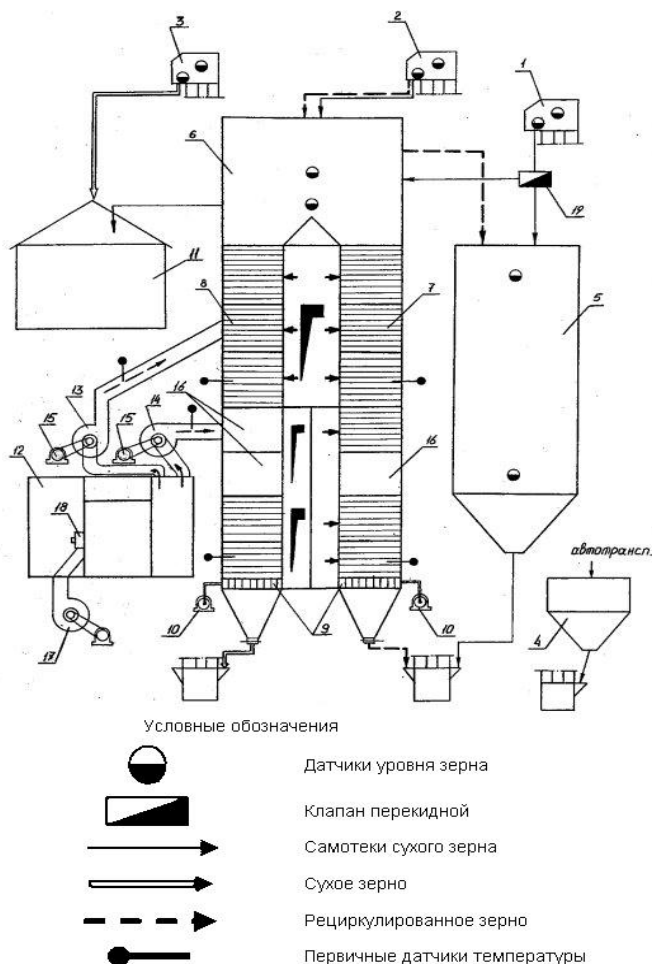


Рис. 3. Конструкция зерносушилки ДСП-50:

- 1 – нория сырого зерна; 2 – рециркуляционная нория; 3 – нория сухого зерна; 4 – приемный бункер для сырого зерна; 5 – накопительный бункер для сырого зерна; 6 – надсушильный бункер; 7 – рециркуляционная шахта; 8 – шахта окончательной сушки; 9 – выпускные механизмы; 10 – электроприводы выпускных механизмов; 11 – склад сухого зерна; 12 – топка; 13 – вентилятор 1-й зоны; 14 – вентилятор 2-й зоны; 15 – электроприводы вентиляторов; 16 – зона отлежки зерна; 17 – вентилятор подачи воздуха на форсунку; 18 – форсунка Ф-1; 19 – клапан перекидной с ручным управлением (ПК-15)

Результаты исследования и их обсуждение

В основном зерносушилка ДСП-50 работает на газообразном топливе (природный газ). В результате сгорания природного газа в атмосферу выбрасываются загрязняющие вещества, такие как диоксид углерода, оксид азота. Концентрация этих веществ превышает предельно допустимые выбросы в атмосферном воздухе (табл. 1), вследствие чего предприятие вносит плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Оценка воздействия предприятия на окружающую среду

Наименование загрязняющего вещества	Допустимые выбросы, г/с	Фактические выбросы, г/с
Диоксид углерода (CO ₂)	0,1007	0,189
Оксид азота (NO)	0,0022	0,129

Для очистки выбросов вредных газов, выбрасываемых предприятиями, применяются три разновидности методов: абсорбционные, адсорбционные и каталитические. Абсорбционный метод характеризуется сложностью в использовании и обслуживании, а также требовательностью к большим финансовым вложениям из-за громоздкого оборудования и образования жидких стоков и твердых осадков. Адсорбционный метод, основанный на использовании микропористых сорбентов, является более эффективным и имеет несколько преимуществ. Он обеспечивает глубокую очистку от токсичных примесей, не создает отходов благодаря возможности десорбции поглощенных веществ, прост в обновлении твердых сорбентов, эффективно удаляет токсичные вещества даже в низкой концентрации, имеет невысокую стоимость адсорбентов и широкие возможности применения. Каталитические методы, основанные на реакциях в присутствии твердых катализаторов, то есть на закономерностях гетерогенного катализа, не представляют особого интереса для данного исследования.

Для модернизации технологической схемы сушки и очистки зерна предлагается установить блок адсорбционной очистки газовых выбросов от оксидов углерода и азота, включающий параллельно функционирующие адсорбер-десорбер, которые являются аппаратами непрерывного действия. На рис. 4 представлена соответствующая технологическая схема с адсорбером-десорбером (позиция 9).

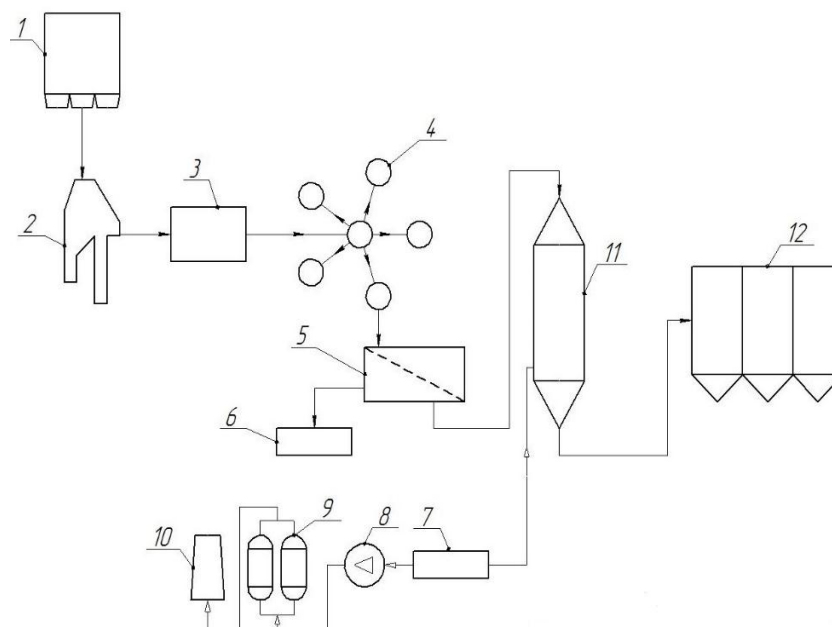


Рис. 4. Технологическая схема предприятия после модернизации:
1 – приемный бункер; 2 – нория; 3 – автоматические весы; 4 – распределительные круги;
5 – сепаратор; 6 – отходы; 7 – топка; 8 – насос; 9 – адсорбер-десорбер;
10 – труба; 11 – зерносушилка; 12 – силос

Загрузка адсорбера производится зерновыми отходами предприятия фракцией размером 0,5–2,5 мм. Используется просеиватель марки УИП-4, который имеется на элеваторе.

В исследовании произведен расчет параметров предлагаемого к установке адсорбера марки ФСУ-1,5-06, результаты которого представлены в табл. 2. Технологические характеристики зерна как адсорбционного материала представлены в табл. 3. Сама конструкция сорбционного фильтра показана на рис. 5 [12, 13].

Таблица 2

Режимные и конструкционные параметры проектирования адсорбера

Исходные данные	Показатель
Диаметр адсорбера, м	0,6
Давление, МПа	0,1
Расход газа на входе, кг/ч	2,2
Концентрация оксида углерода в газе на входе в адсорбер, % масс.	2,0
Концентрация оксида азота в газе на входе в адсорбер, % масс.	1,0
Температура процесса, °С	40
Скорость потока газовой смеси, м/с	0,22

Таблица 3

Технологические характеристики зерновых отходов

Исходные данные	Показатель
Адсорбционная емкость по СО – $A_{\text{зерновые отходы}}$, г/г	0,12
Диаметр зерен – d_z , мм	0,8–1,3
Суммарный объем пор – V_{Σ} , см ³ /г	0,45
Насыпная плотность – ρ_n , кг/м ³	300–820
Удельная поверхность – a_v , м ² /г	720
Удельный свободный объем – $\varepsilon_{\text{св}}$	0,375

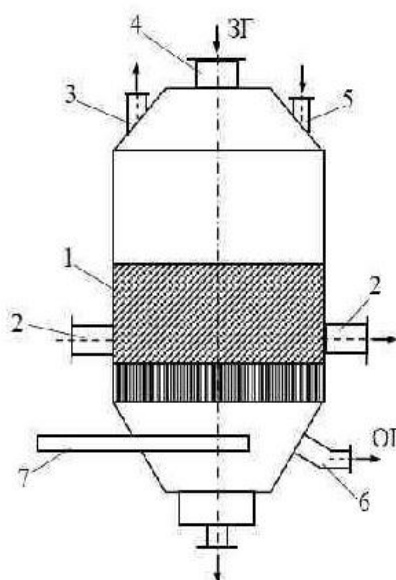


Рис. 5. Конструкция адсорбера ФСУ-1,5-06:

1 – корпус; 2 – люки для выгрузки адсорбента; 3 – штуцер для отведения паров при десорбции; 4 – патрубок для загрязненной парогазовой смеси при десорбции и воздуха при сушке/охлаждении адсорбента во время регенерации; 5 – люк для загрузки адсорбента; 6 – штуцер для отведения очищенного газа и воздуха во время регенерации; 7 – штуцер для отведения конденсата

В целях оценки экономической эффективности предложенного мероприятия по модернизации системы очистки газовых выбросов рассмотренного предприятия также был произведен экономический расчет предотвращенного экологического вреда атмосферному воздуху как компоненту природной среды, который составил 139 646,6 руб. в год [14].

Таким образом, на примере одного элеватора выявлены проблемы большей части аналогичных зерноперерабатывающих предприятий в Российской Федерации. Ожидается, что разработанные схема и чертеж оборудования позволят хозяйствующим субъектам в области переработки и хранения растительного сырья упростить задачи по поиску технологических решений адсорбционной очистки топочных газовых выбросов от оксида углерода и оксида азота.

Заключение

Предприятия переработки и хранения растительного сырья являются важным элементом экономики нашей страны. При всей значимости данного направления деятельности вопросы экологической безопасности остаются решенными не в полной мере, поскольку в настоящее время все еще присутствует угроза загрязнения окружающей среды выбросами опасных газов.

Одним из явных и перспективных направлений обеспечения экологической безопасности процессов эксплуатации элеваторов, имеющих шахтную зерносушильную конструкцию, является предлагаемая модернизация технологической схемы осушки и очистки зерна путем установки рассмотренного в исследовании блока адсорбционной очистки газовых выбросов.

Список источников

1. Dominici F., Greenstone M., Sunstein C. Particulate matter matters // *Science*. 2014. № 6181. P. 257–259.
2. Николаева Л.А., Исхакова Р.Я. Адсорбционная очистка газовых выбросов отходом производства от оксидов азота // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2023. № 1. С. 99–106.
3. Хуснутдинова Э.М., Николаева Л.А. Очистка газовых выбросов предприятий от вредных примесей с использованием отходов производства // *Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: сб. науч. трудов*. Белгород: Белгородский гос. технолог. ун-т им. В.Г. Шухова, 2021. С. 189–192.
4. Еламанова Х.Т. Применение адсорбентов для адсорбции газов и паров // *Инновационные процессы в научной среде: сб. науч. трудов*. Новосибирск: Омега Сайнс, 2016. С. 21–24.
5. Самаркина Т.С., Рахимова Н.Н. Экологическая оценка выбросов зерноперерабатывающего предприятия // *Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: сб. науч. трудов*. Оренбург: Полиарт, 2019. С. 313–319.
6. Kliopova I., Petraskiene V. Evaluation of significant environmental aspects in grain processing // *Environmental Research, Engineering and Management*. 2009. № 3. P. 44–55.
7. Ecological, biotechnological and economic aspects of wheat grain processing / I. Jarkova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (012031)*. 2019. Vol. 337. № 1. P. 1–11.
8. Radojevic M. Reduction of nitrogen oxides in flue gases // *Environmental Pollution*. 1998. № 1. P. 685–689.
9. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks / H. Tian [et al.] // *Nature*. 2020. № 7828. P. 248–256.

10. Пунков С.П., Ким Л.В., Фейденгольд В.В. Проектирование элеваторов и хлебоприемных предприятий с основами САПР: учеб. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1996. 284 с.
11. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. М.: ДеЛи принт, 2009. 718 с.
12. Баздырев Г.А. Агробиологические основы производства, хранения и переработки продукции растениеводства: учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2014. 725 с.
13. Технологические расчеты установок / М.А. Таранов [и др.]. М.: Химия, 1987. 352 с.
14. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 28 янв. 2021 г. № 59 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536168?marker=6500IL> (дата обращения: 08.11.2022).

References

1. Dominici F., Greenstone M., Sunstein C. Particulate matter matters // *Science*. 2014. № 6181. P. 257–259.
2. Nikolaeva L.A., Iskhakova R.Ya. Adsorbicinnaya ochistka gazovyh vybrosov othodom proizvodstva ot oksidov azota // *Nauka i tekhnika v gazovoj promyshlennosti*. 2023. № 1. S. 99–106.
3. Husnutdinova E.M., Nikolaeva L.A. Ochistka gazovyh vybrosov predpriyatij ot vrednyh primesej s ispol'zovaniem othodov proizvodstva // *Racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov i pererabotka tekhnogennogo syr'ya: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, himiya i biotekhnologiya: sb. nauch. trudov*. Belgorod: Belgorodskij gos. tekhnol. un-t im. V.G. Shuhova, 2021. S. 189–192.
4. Elamanova H.T. Primenenie adsorbentov dlya adsorbicii gazov i parov // *Innovacionnye processy v nauchnoj srede: sb. nauch. trudov*. Novosibirsk: Omega Sajns, 2016. S. 21–24.
5. Samarkina T.S., Rahimova N.N. Ekologicheskaya ocenka vybrosov zernopererabatyvayushchego predpriyatiya // *Regional'nye problemy geologii, geografii, tekhnosfernoj i ekologicheskoy bezopasnosti: sb. nauch. trudov*. Orenburg: Poliart, 2019. S. 313–319.
6. Kliopova I., Petraskiene V. Evaluation of significant environmental aspects in grain processing // *Environmental Research, Engineering and Management*. 2009. № 3. P. 44–55.
7. Ecological, biotechnological and economic aspects of wheat grain processing / I. Jarkova [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (012031). 2019. Vol. 337. № 1. P. 1–11.
8. Radojevic M. Reduction of nitrogen oxides in flue gases // *Environmental Pollution*. 1998. № 1. P. 685–689.
9. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks / H. Tian [et al.] // *Nature*. 2020. № 7828. P. 248–256.
10. Пунков С.П., Ким Л.В., Фейденгольд В.В. Проектирование элеваторов и хлебоприемных предприятий с основами САПР: учеб. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1996. 284 с.
11. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. М.: ДеЛи принт, 2009. 718 с.
12. Баздырев Г.А. Агробиологические основы производства, хранения и переработки продукции растениеводства: учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2014. 725 с.
13. Технологические расчеты установок / М.А. Таранов [и др.]. М.: Химия, 1987. 352 с.
14. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 28 янв. 2021 г. № 59 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536168?marker=6500IL> (дата обращения: 08.11.2022).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.10.2023; одобрена после рецензирования: 01.11.2023;
принята к публикации: 03.11.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 24.10.2023; approved after review: 01.11.2023;
accepted for publication: 03.11.2023

Информация об авторах:

Николаева Лариса Андреевна, заведующая кафедрой «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), доктор технических наук, профессор, e-mail: Larisanik16@mail.ru, SPIN-код: 9652-0146

Сабашева Аделина Рустамовна, студент 2-го курса магистратуры кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: adelina.sabasheva@mail.ru

Котляр Мирослава Николаевна, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: kotlyar-mira@mail.ru, SPIN-код: 6397-9275

Information about the authors:

Nikolaeva Larisa A., head of the department of engineering ecology and occupational safety of Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), doctor of technical sciences, professor, e-mail: Larisanik16@mail.ru, SPIN: 9652-0146

Sabasheva Adelina R., 2nd year student of the master's degree in the department of engineering ecology and occupational safety of Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), e-mail: adelina.sabasheva@mail.ru

Kotlyar Miroslava N., associate professor of the department of environmental engineering and occupational safety at Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), e-mail: kotlyar-mira@mail.ru, SPIN: 6397-9275