

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ТВЕРДЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЩЕВОЙ СОЛИ

Даниил Евгеньевич Долбнев ¹, Максим Сергеевич Черкасов ², Валерий Николаевич Азаров ³,
Даниил Дмитриевич Бунин ⁴

^{1,2,3,4} Институт архитектуры и строительства (структурное подразделение), Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия,

¹ dandolbnev@mail.ru, ² cherkasovmax989@gmail.com, ³ azarovpubl@mail.ru,

⁴ bunindaniilvstu@yandex.ru

Аннотация. За последние десятки лет многими учеными были проанализированы массы данных, полученных при исследовании концентраций различных компонентов минеральных солей в экосистемах. Основная масса ионов солей поступает в окружающую среду за счет антропогенных источников. При добыче и производстве пищевой соли все этапы технологического процесса сопровождаются образованием выбросов, сбросов отходов производства, содержащими в своем составе ионы солей. В целях исследования степени загрязненности воздуха при добыче и производстве пищевой соли приведена оценка действующей системы аспирации воздуха. Процессы получения товарной продукции предприятия сопровождаются существенным загрязнением окружающей среды. Ввиду недостаточно усовершенствованной системы очистки воздуха большая часть уловленной пыли попадает в сточные воды. Проведены исследования запыленности рабочей зоны на обогатительной фабрике соледобывающего предприятия, где сконцентрированы основные источники образования солевой пыли. По результатам проведенных исследований предложены конструктивные решения в снижении загрязненности пылевоздушной массы.

Ключевые слова: добыча, соль, исследование, компоненты, производство, аспирация, очистка, пылеудаление

Для цитирования: Исследование загрязнения воздушной среды твердыми взвешенными веществами при производстве пищевой соли / Д. Е. Долбнев [и др.]. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-4(174) Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли. С. 26–32. doi: 10.71536/vd.2025.4c174.4. edn: [srwtzf](#).

Original article

STUDY OF AIR POLLUTION BY SUSPENDED SOLIDS DURING THE PRODUCTION OF EDIBLE SALT

Daniil E. Dolbnev ¹, Maxim S. Cherkasov ², Valery N. Azarov ³, Daniil D. Bunin ⁴

^{1,2,3,4} Volgograd State Technical University Institute of Architecture and Construction, Volgograd, Russia,

¹ dandolbnev@mail.ru, ² cherkasovmax989@gmail.com, ³ azarovpubl@mail.ru, ⁴ bunindaniilvstu@yandex.ru

Abstract. Over the last decades, many scientists have analyzed masses of data obtained in the study of concentrations of various components of mineral salts in ecosystems. The main mass of salt ions enters the environment due to anthropogenic sources. At extraction and production of food salt all stages of the technological process are accompanied by the formation of emissions, discharges of production wastes containing salt ions. In order to study the degree of air pollution in the extraction and production of table salt, the assessment of the current air aspiration system is given. The processes of obtaining commercial products of the enterprise are accompanied by significant pollution of the environment. Due to the insufficiently improved air purification



system, most of the captured dust gets into waste water. The research of dustiness of the working zone at the enrichment plant of the salt-mining enterprise, where the main sources of salt dust formation are concentrated, has been carried out. According to the results of the conducted research the constructive solutions in reduction of dust-air mass pollution are proposed.

Keywords: mining, salt, research, components, production, aspiration, cleaning, dust removal

For citation: Study of air pollution by suspended solids during the production of edible salt / D. E. Dolbnev [et al.]. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific and technical achievements of students of the construction and architectural industry.* 2025;4(174):26–32. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.4c174.4. edn: srwtzf.

ВВЕДЕНИЕ

Сейчас практически невозможно представить нашу жизнь без применения соли (хлористого натрия). Человек применяет соль на различных этапах жизнедеятельности – как в приготовлении пищи, так и в быту. В промышленности соль применяется в качестве компонента для производства различных веществ. Как и для человечества соль немаловажна в жизнедеятельности животного мира.

Производство пищевой соли основывается на различных способах ее добычи и переработки, и мировой рынок ее растет по оценкам специалистов на 1 % в год. Однако стремительно растет и техногенное воздействие на компоненты окружающей среды, которое отрицательно сказывается на ее состоянии.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования технологических и экологических особенностей производства пищевой соли приведены в работах Е. Ю. Капитонец и И. А. Басалай. Ими рассмотрены основные способы добычи и переработки пищевой соли, а также на каких этапах и какие существуют экологические последствия соледобывающего производства. В работе Е. И. Румянцевой было выявлено от чего зависит степень загрязненности окружающей среды при добыче калийной соли, а также проанализированы экологические проблемы, которые могут возникнуть при добыче и производстве соли. Е. А. Калюжина, А. Б. Стреляева, В. А. Кожникова, Л. С. Панжева, И. И. Кожин и Ф. Г. Антонов занимались исследованием мелкодисперсной пыли. На сегодняшний день является актуальным установление нормативов для PM10 и PM2,5 в промышленных выбросах.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Цель данной работы заключается в исследовании особенностей этапов производства пищевой соли. Исследование направлено на выявление этапов производства, сопровождающихся наиболее интенсивным пылеобразованием. Оценка степени загрязненности выбросов позволит выявить слабые стороны действующей на производстве пылеочистной системы и разработать необходимые мероприятия.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из крупнейших объектов по добыче каменной соли в России является Светлогорское месторождение Прикаспийского соленосного бассейна. Его запасы составляют 1,1 миллиарда тонн.

С 1971 года осуществляется промышленная добыча каменной соли. Для этого используется метод подземного выщелачивания (подземного растворения) – в скважину в качестве растворителя закачивается вода, которая растворяет соль, образуя рассол [1]. Добытый рассол затем выпаривается, а полученная соль перерабатывается [2]. Товарная продукция выпускается в виде таблеток и кристаллического сыпучего продукта.

При производстве пищевой соли на исследуемом объекте выделяют следующие стадии:

- прием и осаждение солевой суспензии;
- центрифugирование;
- сушка и газоочистка;
- таблетирование;
- фасовка готового продукта в МКР и мешки;
- складирование и отгрузка готовой продукции.

Технологический процесс производства пищевой соли осуществляется по методу осадительной технологии с дальнейшей сушкой продукта в кипящем слое.

Высушенный продукт с остаточным значением массовой доли влаги не более 0,1 % с вибрационной сушилки разгружается в шнековый конвейер и далее через распределительное устройство транспортируется в одно из двух направлений. В случае первого направления после ряда технологических операций фасовка готового продукта осуществляется в мягкие контейнеры (биг-бэги) или мешки. По второй линии продукт поступает на стадию таблетирования и далее на фасовку в мешки. Процесс работы – непрерывный.

Процессы получения товарной продукции предприятия по производству пищевой соли сопровождаются существенным загрязнением производственных помещений и окружающей среды, которое включают в себя воздействие на водные ресурсы, загрязнение почвы и воздуха, а также влияние на биоразнообразие региона. Так, масса пыли, уловленная в пылеулавливающих системах производства за год, а затем сброшенная вместе со сточными водами, составляет более 50 т/год. Значительная доля промышленных сбросов комплекса солепромысла приходится на обогатительную фабрику. Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при производстве пищевой соли приведен в таблице 1.

Таблица 1. Полный перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу

Загрязняющее вещество		Класс опасности	Суммарный выброс загрязняющих веществ	
код	наименование		г/с	т/г
0152	Натрий хлорид (натриевая соль соляной кислоты)	3	0,0106201	0,250636
0301	Азота диоксид (двуокись азота; пероксид азота)	3	0,0138222	0,0667850
0303	Аммиак (азота гидрид)	4	0,0001756	0,000558
0304	Азот (II) оксид (азот монооксид)	3	0,0022461	0,0108530
0322	Серная кислота (по молекуле H_2SO_4)	2	0,0003668	0,001892
0328	Углерод (пигмент черный)	3	0,0013880	0,0051830
0330	Сера диоксид	3	0,0032730	0,0137520
0337	Углерода оксид (углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	4	0,0233620	0,0978480
2732	Керосин (керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	–	0,0053926	0,0235180

Проанализировав перечень загрязняющих веществ, можно сделать вывод, что большая масса загрязняющих веществ, поступающая в атмосферу это натриевая соль соляной кислоты (натрий хлорид).

Запыленность воздуха в производственных помещениях обогатительной фабрики зависит от многих факторов, в основном она определяется выделением пыли натрия хлорида в воздух рабочей зоны при выполнении различных технологических операций.

Для определения мест наиболее интенсивного пылеобразования, были проведены измерения запыленности в воздухе внутрицеховых помещений обогатительной фабрики. Измерение массовой концентрации дисперсной фазы аэрозолей осуществлялось гравиметрическим методом [3]. Далее руководствуясь методическими указаниями по определению загрязняющих веществ, были получены данные о массовой концентрации натрия хлорида на исследуемых участках [4]. По результатам проведенных измерений отмечается высокое содержание загрязняющих веществ в виде пыли натрия хлорида в воздухе рабочей зоны на стадиях таблетирования (таблица 2).

Одной из наиболее значимых характеристик пыли, определяющих физические и физико-химические свойства, является распределение частиц пыли по размеру – дисперсный состав. Для оценки степени загрязненности выбросов исследуемого производства проведены исследования на наличие мелкодисперсной пыли, а именно PM2,5 и PM10. На территории производства пищевой соли были отобраны образцы пыли, осевшей на оконной раме промышленного здания. Методом микроскопии с применением лазерного анализатора размеров частиц Microtrac s3500 был проведен дисперсный анализ образца пыли [5; 6]. В таблице 3 представлены результаты полученных измерений.

Распределение массы частиц по диаметрам было представлено в виде интегральной функции на рисунке.

Анализ результатов показывает, при производстве пищевой соли в выбросах преобладают мелкодисперсные частицы солевой пыли, которые на предприятиях не нормируются. В дисперсном составе пыли в воздухе рабочей зоны (пробы 2–6), преобладают частицы от 1 до 50 мкм, доля частиц до 10 мкм составляет от

Таблица 2. Результаты измерений вредных веществ в воздухе рабочей зоны на стадиях таблетирования и фасовки готовой продукции

Время отбора проб	Место отбора	Массовая концентрация контролируемых показателей, мг/м ³	
		Натрий хлорид (по МУ 2914-83)	Пыль (дисперсная фаза аэрозолей) (по МУК 4.1.2468-09)
10:00	Линия таблетирования сыпучей соли на таблетпрессах	8,6±2,1	5,1±1,2
		6,5±1,6	5,0±1,2
		7,4±1,8	5,8±1,4
		2,9±0,7	2,8±0,7
		3,3±0,8	3,1±0,7
		2,0±0,5	1,6±0,4
		6,4±1,6	7,1±1,7
		5,9±1,5	8,7±2,1
		3,2±0,8	4,3±1,0
		4,8±1,2	6,0±1,1
		8,0±2,0	8,3±2,0
		3,0±0,8	4,6±1,1
13:20		2,6±0,6	4,4±1,0
		3,5±0,9	4,3±1,0
		3,0±0,8	4,1±1,0
14:20		1,9±0,5	2,0±0,5
		1,26±0,32	2,5±0,6
		0,93±0,23	2,0±0,5

Таблица 3. Доли мелкодисперсной пыли в воздухе при производстве пищевой соли

п/п	Место отбора проб	Высота отбора проб, м	Диапазон измерения доли мелкодисперсной пыли %	
			PM2,5	PM10
1	Установка аспирации	–	6,25	98
2	Пол производственного помещения	0	0,06	1,2
3	Перила на втором этаже	3,5	0,02	1,6
4	Ограждающие перила возле таблетпресса	1,5	0,015	1,4
5	Пол площадки обслуживания на втором этаже	2,5	0,05	1,9
6	Подоконник производственного помещения	1	0,21	2,2

1 до 2 % от массы всех частиц пыли. Размер частиц из улавливаемых системой аспирации поступающих в атмосферный воздух, составляет от 0,5 до 14 мкм (проба 1).

Присутствие в воздухе рабочей зоны взвешенных частиц, включая пыль, может негативно влиять на здоровье рабочих. Длительное вдыхание такой пыли способствует возникновению заболеваний дыхательной системы: хронических заболеваний полости носа, глотки, бронхов, легких, аллергических реакций. Также могут возникнуть воспалительные процессы, головные боли, раздражение слизистых оболочек глаз. Из-за постоянного наличия пыли, сопровождающимся накопительным эффектом, у ранее абсолютно здорового человека может развиться аллергия [7; 8].

Очень важно обеспечить максимальную степень эффективности очистки выбросов производства в атмосферу. В качестве пылеулавливающего оборудования на производстве используются полые форсуночные скруббера, обеспечивающие одностадийную очистку аспирационного воздуха от солевой пыли.

ВЫВОДЫ

Проанализировав действующую, систему пылеочистки, были выявлены проблемы, которые существенно снижают качество выбросов в воздух рабочей зоны и атмосферу, к ним относятся невысокая температура воды, подаваемая к форсункам скруббера менее 8 °C, что в свою очередь не позволяет в полной мере растворяться солевой пыли [9; 10], а также одностадийный процесс очистки, который в полной мере не обеспечивает требуемую степень очистки выбросов при производстве соли. Особое внимание хочется обратить на результаты дисперсного анализа, полученные на рисунке. Средний размер частиц удаляемый из системой аспирации из воздуха рабочей зоны не превышает 14 мкм, однако более крупные частицы пыли натрия

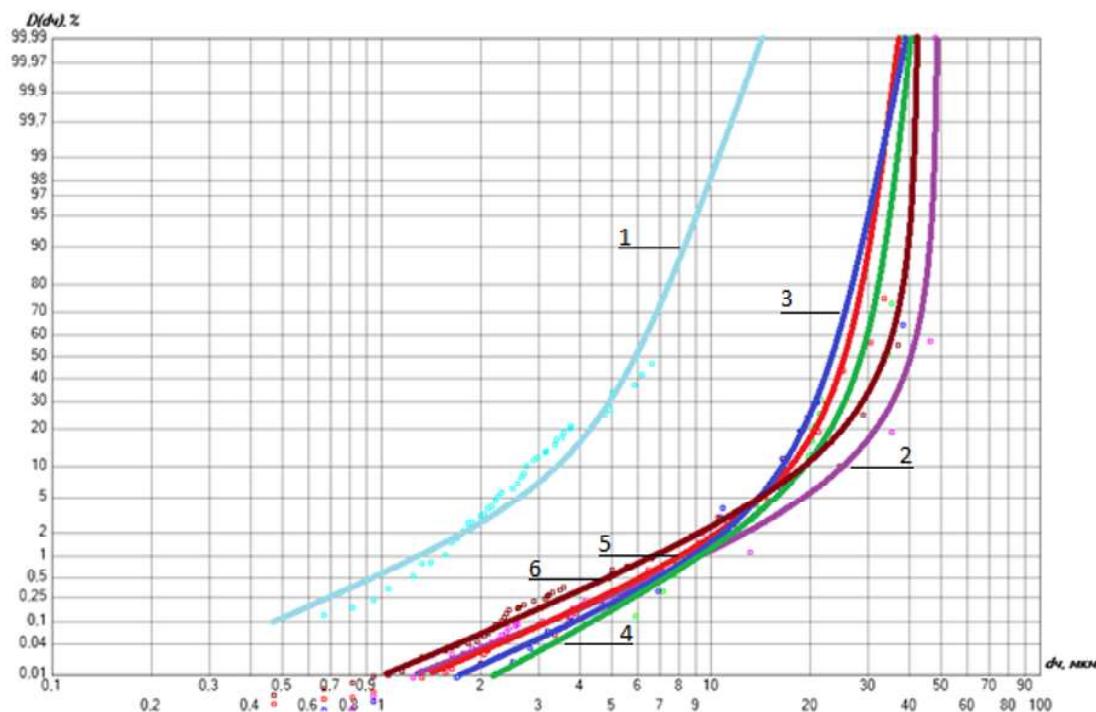


Рисунок – Интегральная функция распределения массы частиц по диаметрам для пыли, собранной в промышленном здании.

хлорида до 50 мкм остаются в рабочей зоне и далее оседает на производственных конструкциях, а также распределяется по поверхности пола всего цеха фасовки.

Таким образом предложено снизить пылевую нагрузку от предприятия по добыче соли путем внедрения следующих мероприятий:

1. Внедрение предварительной очистки воздуха от пыли в пылеуловителях «сухого» типа, например, циклонах. В циклонах наиболее совершенных конструкций можно достаточно полно улавливать частицы размером от 10 мкм и более [11]. Такое решение позволит увеличить просок пыли диаметром до 50 мкм, в выбросах производства, а также изъять из процесса мокрого пылеулавливания существенную долю солевой пыли (до 70–75 %) и использовать ее в качестве товарной продукции предприятия.

2. Оптимизация процесса подачи воды к форсункам скруббера путем подбора оптимальной для растворения солевой пыли температуры. Это в свою очередь позволит снизить массу загрязняющих веществ, поступающих в сточные воды.

3. Увеличить производительность объемного расхода газа системы аспирации в рабочем режиме для удаление более крупных частиц пыли диаметром до 50 мкм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ушивцева Л. Ф., Родионовская Т. С., Умерова Е. Ф. Гидрохимические особенности и перспективы использования соленосных отложений источника гидроминерального сырья // Геология, география и глобальная энергия. 2017. N 3 (66). С. 37-46. EDN ZVKXFF.
2. Географический атлас-справочник Волгоградской области / В. А. Брылев [и др.]. М.: "Планета", 2014. 56 с.
3. МУК 4.1.2468-09. Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горнорудной и нерудной промышленности. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 25 с.
4. МУ 2914-83. Методические указания по фотометрическому измерению концентрации хлористого натрия в воздухе рабочей зоны. М.: Типография министерства здравоохранения СССР, 1983. 182 с.
5. Calculation Models for the Dispersed Composition Integral Functions Approximation of the Dust in the Air / N. S. Zhukova [et al.]. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development (CATPID-2020). 2020. Vol. 913. 8 p. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/5/052036.pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/5/052036/pdf) (дата обращения: 13.03.2025). DOI 10.1088/1757-899X/913/5/052036.
6. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников / Н. В. Зайцева [и др.]. // Гигиена и санитария. 2013. N 5. С. 19-23.

7. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко [и др.]; под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
8. Койранский Б. Б. Руководство по профессиональной гигиене. М.-Л.: Биомедгиз, 1935. 431 с.
9. Якименко Л. М. Производство хлора, каустической соды и неорганических хлорпродуктов. М.: Химия, 1974. 597 с.
10. ИТС 22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. М.: Бюро НТД, 2016, 212 с.
11. Орлов С. М., Романенко Б. Р., Орлова А. Я. Перспективы использования электризации пыли для повышения энергоэффективности циклонов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. Вып. 2017-5(127) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 11-17. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-5\(127\)/st_02_orlov_romanenko_orlova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-5(127)/st_02_orlov_romanenko_orlova.pdf) (дата обращения: 26.03.2025). ISSN 2519-2817 online.

REFERENCES

1. Ushivtseva, L.F., Rodionovskaya, T.S. and Umerova, E.F. (2017), "Hydrochemical Characteristics and Prospects for the use of the Salt Deposits as a Source of Hydromineral Raw Materials", *Geologiya, Geografiya i Global'naya Energiya*, no. 3 (66), pp. 37-46. EDN ZVKXFF.
2. Brylev, V.A., Burul', T.N., D'yachenko, N.P., Klyushnikova, N.M., Lobanova, N.A., Monikov, S.N., Pryakhin, S.I. and Shirshov, A.F. (2014), *Geograficheskiy atlas-spravochnik Volgogradskoy oblasti* [Geographic Atlas-directory of the Volgograd region], "Planeta", Moscow, Russia.
3. Methodological instructions (2009), *MUK 4.1.2468-09: Izmerenie massovykh kontsentratsii pyli v vozdukhe rabochei zony predpriyatiy gornorudnoi i nerudnoi promyshlennosti* [MUK 4.1.2468-09: Measurement of mass concentrations of dust in the air of the working zone of mining and non-metallic industry enterprises], Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, Moscow, Russia.
4. Methodological instructions (1983), *MU 2914-83: Metodicheskie ukazaniya po fotometricheskому izmereniyu kontsentratsii khloristogo natriya v vozdukhe rabochei zony* [MU 2914-83: Methodological instructions for photometric measurement of sodium chloride concentration in the air of the working zone], Printing House of the Ministry of Health of the USSR, Moscow, Russia.
5. Zhukova, N.S., Kalyuzhina, E.A., Azarov, A.V. and Strelyaeva, A.B. (2020), "Calculation Models for the Dispersed Composition Integral Functions Approximation of the Dust in the Air", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development (CATPID-2020)*, vol. 913, 8 p., available at: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/5/052036/pdf (Accessed 13 March 2025). DOI 10.1088/1757-899X/913/5/052036.
6. Zaytseva, N.V., May, I.V., Maks, A.A. and Zagorodnov, S.Y. (2013), "Dispersion and Component Composition of the Dust for the Assessment of the Exposure to the Population in the Areas of Influence of Industrial Emissions of Stationary Sources", *Hygiene and Sanitary*, no. 5, pp. 19-23.
7. Onishchenko, G.G., Novikov, S.M., Rakhmanin, Y.A., Avaliana, S.L. and Bushtueva, K.A. (2002), *Osnovy otsenki riska dlya zdrorov'ya naseleniya pri vozdeistvi khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu* [Basics of public health risk assessment of exposure to chemicals polluting the environment], ed. in Rakhmanina Y.A. and Onishchenko G.G., Research Institute for Human Ecology, Moscow, Russia.
8. Koyrantsky, B.B. (1935), *Rukovodstvo po professional'noi gигиене* [Occupational hygiene manual], Biomedgiz, Moscow, Leningrad, Russia.
9. Yakimenko, L.M. (1974), *Proizvodstvo khlorov, kausticheskoi sody i neorganicheskikh khlorproduktov* [Production of chlorine, caustic soda and inorganic chlorine products], Chemistry, Moscow, Russia.
10. Technical Information Guide (2016), *ITS 22-2016: Ochistka vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernyi vozdukh pri proizvodstve produktov (tovarov), a takzhe pri provedenii rabot i okazanii uslug na krupnykh predpriyatiyakh* [ITS 22-2016. Treatment of emissions of harmful (polluting) substances into the atmospheric air during the production of products (goods), as well as during the performance of works and provision of services at large enterprises], Bureau of Best Available Techniques, Moscow, Russia.
11. Orlov, S.M., Romanenko, B.R. and Orlova, A.Ya. (2017), "Prospects for the use of Electrification of Dust to Increase the Efficiency of the Cyclones", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2017-5(127) Engineering systems and technogenic safety, pp. 11-17, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-5\(127\)/st_02_orlov_romanenko_orlova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-5(127)/st_02_orlov_romanenko_orlova.pdf) (Accessed 26 March 2025). ISSN 2519-2817 online.

Информация об авторах

Долбнев Даниил Евгеньевич – магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: исследование рациональных методов снижения негативного воздействия добывающей промышленности на окружающую среду.

Черкасов Максим Сергеевич – магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: исследование рациональных методов снижения негативного воздействия добывающей промышленности на окружающую среду.

Азаров Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: исследование рациональных методов снижения негативного воздействия добывающей промышленности на окружающую среду.

Бунин Даниил Дмитриевич – аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: исследование рациональных методов снижения негативного воздействия добывающей промышленности на окружающую среду.

Information about the authors

Dolbnev Daniil E. – master's student, Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. Scientific interests: research of rational methods to reduce the negative impact of extractive industry on the environment.

Cherkasov Maxim S. – master's student, Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. Scientific interests: research of rational methods to reduce the negative impact of extractive industry on the environment.

Azarov Valery N. – Sc. D. (Eng.), Professor; Head of the Department of Life Safety in Construction and Urban Management, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Volgograd, Russia. Scientific interests: study of rational methods for reducing the negative impact of the extractive industry on the environment.

Bunin Daniil D. – post-graduate student, Department of Life Safety in Construction and Urban Economy, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia. Scientific interests: research of rational methods to reduce the negative impact of extractive industry on the environment.

Вклад авторов:

Долбнев Д. Е. – осуществление замеров; отбор проб; анализ результатов измерений; доработка текста.

Черкасов М. С. – анализ результатов измерений; участие в написании текста; оформление текста; итоговые выводы.

Азаров В. Н. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Бунин Д. Д. – обработка графических материалов; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Dolbnev D. E. – making measurements; sampling; analyzing the results of measurements; final conclusions.

Cherkasov M. S. – analysis of measurement results; participation in writing the text; design of the text; final conclusions.

Azarov V. N. – scientific guidance; research concept; development of methodology; participation in the development of training programs and their implementation; writing of the original text; final conclusions.

Bunin D. D. – processing of graphic materials; finalization of the text; final conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 29.04.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.