

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 631.354.2.631.55
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_61

Оценка выбросов вредных веществ от предприятий агропромышленного комплекса на примере маслоэкстракционных заводов

Владимир Иванович Оробинский¹, Андрей Сергеевич Корнев^{2✉},
Давид Геннадьевич Тертерашвили³, Александр Максимович Заяц⁴

^{1,2,3,4}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
²kornev.andr@mail.ru[✉]

Аннотация. Зерно для многих стран мира, в том числе и для России, является стратегическим продуктом, используемым в широком перечне направлений производства различных отраслей экономики, одним из немногих воспроизводимых экспортных товаров. В агробизнесе зерноочистительными операциями отводится центральное место в послеуборочной обработке зерновых культур. По чистоте зерна принято судить о его качестве. На элеваторах зерно проходит очистку от пыли и различных примесей, из зернового вороха удаляется излишняя влага, зерновая масса отсортировывается, складывается и отпускается по назначению. Отходы, в которых присутствует зерновая пыль, составляют 26% от общей массы сырья. Данные отходы вместе с воздухом в дальнейшем проходят через воздушные фильтры в аспирационных системах, в работе которых, несмотря на постоянное совершенствование, сохраняются определенные недостатки, в частности низкая эффективность улавливания зерновой пыли, представляющей повышенную опасность для работников предприятия и населения, проживающего в непосредственной близости от элеваторных пунктов. На трех маслоэкстракционных заводах, расположенных в Воронежской, Курской и Тамбовской областях и оборудованных циклонами типа ЦН-11, были проведены исследования запыленности воздуха на территории предприятия и в жилой зоне на удалении 100, 300 и 500 м от источника выбросов. По результатам исследований был построен график зависимости запыленности воздуха от расстояния до предприятия и выполнено сравнение с предельно допустимыми значениями концентрации пыли в воздухе. Установлено, что концентрация пыли превышает норму на 0,02–0,893 мг/м³ в зависимости от расстояния до источника загрязнения. Эффективность работы циклонов ЦН-11 составляла в среднем 21%, что значительно ниже заявленных в паспорте 85%. Для решения исследуемой проблемы необходима замена используемых на предприятиях циклонов ЦН-11 на СЦН-40, имеющих более высокую степень очистки.

Ключевые слова: аспирационная система, циклон, очистка воздуха, зерновая пыль, акролеин, гексан

Для цитирования: Оробинский В.И., Корнев А.С., Тертерашвили Д.Г., Заяц А.М. Оценка выбросов вредных веществ от предприятий агропромышленного комплекса на примере маслоэкстракционных заводов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1(76). С. 61–68. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_61-68.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Assessment of emissions of harmful substances into the atmosphere from agro-industrial enterprises in a specific context of oil extraction plants

Vladimir I. Orobinsky¹, Andrey S. Kornev^{2✉}, David G. Terterashvili⁴, Aleksandr M. Zayats³

^{1,2,3,4}Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia
²kornev.andr@mail.ru[✉]

Abstract. Grain for many countries of the world, including Russia, is a strategic product used in a wide list of production areas of various sectors of the economy, and one of the few reproducible export goods. In agribusiness, grain cleaning operations occupies a central place in the post-harvest processing of grain crops. The quality of grain can be inferred by its purity. At elevators grain is separated from dust and various impurities, excess moisture is removed from the grain heap at the same place, and the grain mass is sorted, stored and issued for the intended purposes. Waste containing grain dust makes up 26% of the total mass of raw materials. These wastes, together with the air, subsequently pass through air filters in aspiration system. Dust collection systems, despite continuous improvement, are not free from short comings, such as low efficiency of grain dust separation, which poses an increased hazard to health of employees of an enterprise and the population living in close proximity to elevators. The authors conducted a thorough investigation of environmental dust condition of three oil extraction plants located in Voronezh, Kursk and Tambov Oblasts and equipped with TSN-11 type cyclone separators. Outlet dust level was measured on the territory of the enterprises and in the residential area at a distance of 100, 300 and 500 m from the source of emissions. Based on the research findings, graph of the dust content in the air versus remoteness of the location from the enterprise was constructed and a comparison was made with the maximum

permissible values of the dust concentration in the air. It was found that the dust concentration was over the limit by 0.02-0.893 mg/m³, depending on the distance from the source of contamination. The efficiency of the TSN-11 dust collectors averaged 21%, which is significantly lower than the value of 85% stated in the specification. To solve the problem under study, it is necessary to replace the TSN-11 dust collectors used at enterprises with STSN-40, which have a higher level of air cleaning.

Keywords: aspiration system, dust collector, air cleaning, grain dust, allyl aldehyde, caproyl hydride

For citation: Orobinsky V.I., Kornev A.S., Terterashvili D.G., Zayats A.M. Assessment of emissions of harmful substances into the atmosphere from agro-industrial enterprises in a specific context of oil extraction plants. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(1):61-68. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_61-68.

Зерно для многих стран мира, в том числе и для России, является стратегическим продуктом, используемым в широком перечне направлений производства самых различных отраслей экономики, одним из немногих воспроизводимых экспортных товаров. О социальной значимости хлеба как продукта обеспечения продовольственной безопасности знает каждый сельхозтоваропроизводитель.

Очистка зерна и семян – это важный технологический процесс, состоящий из нескольких этапов. В агробизнесе зерноочистительным операциям отводится центральное место в послеуборочной обработке зерновых культур. Производство муки, круп, комбикормов, спирта неизменно начинается с операций очистки. После уборки с полей зерновая масса всегда содержит примеси. Зерно засоряется частицами растений, кусочками почвы, насекомыми, семенами сорняков. По чистоте зерна принято судить о его качестве. Процесс очистки зерна начинается в комбайне, снабженном ворохоочистительным оборудованием. Посредством правильной регулировки зерноуборочной техники можно удалить из зерновой массы максимальное количество частичек травы, палы, битых и дробленых зерен.

Решение проблемы очистки зерна и экологической безопасности готовых продуктов зависит от создания новых технологий и оборудования, обеспечивающих снижение содержания или предотвращающих попадание контаминантов в зернопродукты на этапах от уборки зерна до производства хлеба. На элеваторах зерно проходит очистку от пыли и различных примесей, из зернового вороха удаляется излишняя влага, зерновая масса отсортировывается, складывается и отпускается по назначению. Отходы, в которых присутствует зерновая пыль, составляют 26% от общей массы сырья. Зерновая пыль делится на два вида: порошкообразную (осевшую) и аэрозольную (витающую) [10, 11, 12, 13]. По токсичности и пожаровзрывоопасности зерновая пыль относится к третьему классу опасности. Поэтому зерноперерабатывающие предприятия, где осуществляется обработка и складирование сырья, контролируются Ростехнадзором РФ. Деятельность предприятий регламентируется «Правилами безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья», утвержденными Приказом Ростехнадзора № 475 от 15 ноября 2016 г. [2, 3, 6, 7].

Для зерновой пыли утвержден нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ), который зависит от влажности и размера частиц пыли, поэтому для различных источников выбросов зерновой пыли устанавливаются предельно допустимые концентрации (ПДК), которые варьируют от 40 до 20 г/м³. Для дробленой пшеницы НКПВ составляет 33 г/м³, для муки – 28,8 г/м³. При проектировании вентиляционных систем в расчетах применяют 10% НКПВ. Если в вентиляционных системах концентрация зерновой пыли превышает 2 г/м³, следует использовать системы пожаровзрывобезопасности.

Зерновая пыль переменчива и сложна по составу, в ней присутствуют минеральные примеси (почвенные частицы), разрушенное зерно и части растений, семена сорняков, мицелий и споры грибов, микробы, частички насекомых и клещей. Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны не должна превышать 4 мг/м³ (ПДК). В атмосфере населенных пунктов вблизи элеваторов максимальная разовая концентрация зерновой пыли составляет 0,5 мг/м³ (ПДК). Среднесуточная концентрация равна 0,15 мг/м³.

Зерновая пыль и грибные споры представляют опасность для здоровья работников и населения примыкающих к предприятиям селитебных территорий. Заболеваемость органов дыхания людей, находящихся в этих зонах, выше, чем на других территориях. Значительные по объемам выбросы пыли, возникающие при авариях на зерноперерабатывающих предприятиях, оказывают негативное влияние на проживающих вблизи предприятия людей, которое сопровождается раздражением дыхательных путей и глаз [3].

Все стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха должны проходить инвентаризацию, а предприятия должны иметь разрешения на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Выбросы в атмосферу оцениваются по концентрации вредных веществ в соответствии с «Методикой определения валовых и удельных выбросов в атмосферу для зерноперерабатывающих предприятий и элеваторов» [5].

Что касается предприятий агропромышленного комплекса, наибольшее количество вредных веществ поступает в атмосферу от маслоэкстракционных заводов [8]. Учитывая вышеизложенное, авторами были проведены исследования на трех маслоэкстракционных заводах, расположенных в Воронежской, Курской и Тамбовской областях. Экологичность работы данных предприятий (определение воздействия предприятия на окружающую среду, а также соответствия производственных процессов требованиям по охране окружающей среды, утвержденным в действующих законодательных документах) оценивали по замерам выбросов производственных цехов, оборудованных циклонами типа ЦН-11 (рис. 1), а также по степени запыленности воздуха в жилой зоне, примыкающей к территории предприятия.

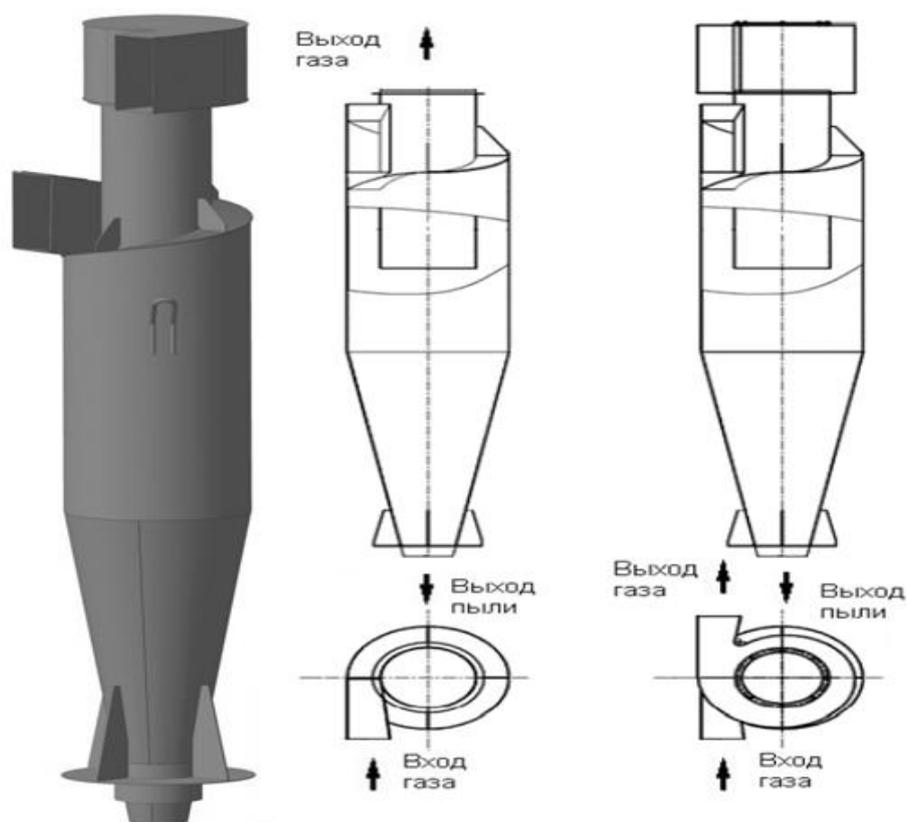


Рис. 1. Циклон типа ЦН-11

Замеры проводили с использованием аспираторов типа М-822М и АМ-0059 в трех повторностях, непосредственно на территории предприятия, а также в жилой зоне на удалении 100, 300 и 500 м от предприятия [1, 2, 4]. Результаты замеров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Анализ выбросов в окружающую среду на исследуемых предприятиях АПК

№ пробы	Характеристика точки отбора пробы (наименование цеха, технологического оборудования, № источника загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА))	Определяемый показатель	Результаты измерений с указанием погрешности (при P = 0,95), мг/м ³			Объем выбросов (при нормальных условиях), м ³ /с
			Воронежская область	Курская область	Тамбовская область	
1	Котельная, котел Гипросахар ИЗА 0001 (до очистки)	Пыль	1234,12 ± 308,53	1014,09 ± 308,53	1310,21 ± 308,53	5,741
		Оксид азота*	42,88 ± 2,14	41,54 ± 2,14	43,01 ± 2,14	4,996
2	Котельная, котел Гипросахар ИЗА 0001 (после очистки)	Диоксид серы	171,60 ± 8,58	145,90 ± 8,58	179,27 ± 8,58	10,0
		Оксид углерода	138,75 ± 6,94	123,77 ± 6,94	141,03 ± 6,94	20,0
		Бензапирен	менее 0,00001	менее 0,00001	менее 0,00001	менее 0,00001
3	Маслоэкстракционный цех, форпрессовое отделение, жаровня Ж-68 ИЗА 0211	Пыль	985,32 ± 246,33	949,87 ± 246,33	1003,10 ± 246,33	5,741
		Акролеин	2,40 ± 0,60	1,96 ± 0,60	2,51 ± 0,60	0,099
4	Маслоэкстракционный цех, форпрессовое отделение, жаровня Ж-68 ИЗА 0212	Акролеин	1,10 ± 0,28	1,03 ± 0,28	1,19 ± 0,28	0,107
5	Маслоэкстракционный цех, экстракционное отделение ИЗА 0152	Гексан	100,00 ± 22,0	89,53 ± 22,0	114,12 ± 22,0	0,194
6	Маслоэкстракционный цех, экстракционное отделение ИЗА 0217	Гексан	10,00 ± 2,2	8,81 ± 2,2	12,81 ± 2,2	4,909

Примечание: * – расчеты количества оксидов азота проведены в соответствии с [6].

Анализ данных таблицы 1 показывает, что концентрация пыли в воздушной среде всех трех маслоэкстракционных заводов в среднем превышает допустимые значения примерно в 1,9 раза. Системы аспирации, установленные на предприятиях, не справляются с очисткой запыленного воздуха на выходе производственных цехов. Установка очистки воздуха (циклон ЦН-11) обеспечивает лишь около 21% из заявленных в техническом паспорте 85%. Кроме пыли в воздушную атмосферу от всех рассматриваемых предприятий попадают такие вещества, как акролеин и гексан (токсичны для человека, оказывают раздражающее воздействие на кожу, при попадании внутрь повреждают легкие, при вдыхании действуют как наркотические вещества, вызывая сонливость, головокружение, поражение периферической нервной системы и онемение ног, угнетение центральной нервной системы), количество которых превышает нормативы по выбросам.

Результаты замеров запыленности воздуха на территории зерноперерабатывающих предприятий и в жилой зоне, находящейся в непосредственной близости от них, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты замеров фактической концентрации пыли на прилегающей территории зерноперерабатывающих предприятий

Точка замера	Фактическая концентрация пыли, мг/м ³			ПДК, мг/м ³
	Воронежская область	Курская область	Тамбовская область	Максимальная разовая
На территории предприятия	1,272	1,159	1,393	0,500
В жилой зоне на удалении от предприятия, расстояние до объекта:				
100 м	0,912	0,864	1,013	0,500
300 м	0,751	0,694	0,787	0,500
500 м	0,523	0,491	0,548	0,500

Используя данные, приведенные в таблице 2, построили соответствующий график зависимости концентрации пыли от расстояния до объекта загрязнения воздушной среды (рис. 2).

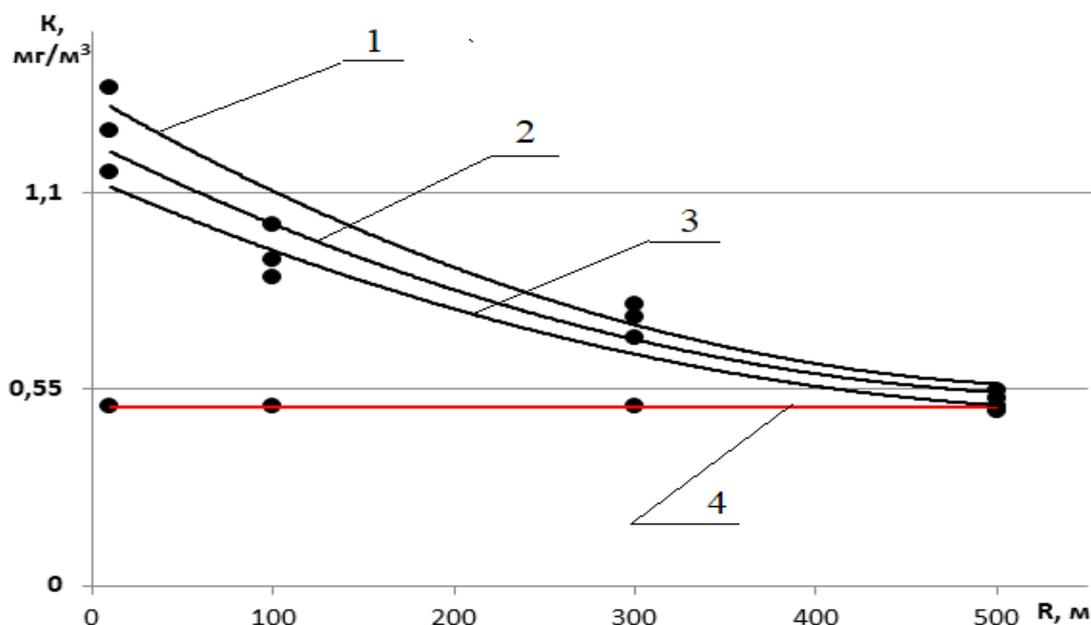


Рис. 2. Влияние расстояния от источника выбросов на запыленность воздуха: 1 – Тамбовская область; 2 – Воронежская область; 3 – Курская область; 4 – ПДК по пыли

Как видно на рисунке 2, концентрация пыли в измеряемых точках превышает допустимую норму на 0,023–0,893 мг/м³ в зависимости от расстояния до источника загрязнения. Наибольшая концентрация пыли (1,393 мг/м³) отмечена при замерах на территории зерноперерабатывающего предприятия в Тамбовской области. Лучшая экологическая обстановка по пыли наблюдалась в Курской области на удалении от маслоэкстракционного завода на 500 м – 0,491 мг/м³, что не превышает ПДК.

В целом замеры выявили общую проблему зерноперерабатывающих предприятий – неэффективную работу систем очистки выбросов, оборудованных циклонами ЦН-11, которые в настоящее время являются одной из самых популярных разновидностей фильтрующих устройств серии ЦН. Используемые на предприятиях циклоны предназначены для отделения от газообразной среды взвешенных частиц сухой пыли, образующейся в различных помольных и дробильных установках, при транспортировании сыпучих материалов, а также летучей золы. Расчетная эффективность с размерами частиц пыли от 10 до 20 мкм принимается равной 85% (в соответствии с техническими характеристиками паспорта завода-изготовителя). Результаты проведенных лабораторных исследований свидетельствуют о том, что эффективность этих устройств едва достигает 21%. Принимая во внимание тот факт, что циклоны не обеспечивают требуемой степени очистки, можно сделать вывод о необходимости либо их замены, либо модернизации.

В целом по предприятиям Центрально-Черноземного региона установлено превышение нормативов выбросов вредных веществ в атмосферный воздух по пыли (взвешенным частицам). Для решения данной проблемы целесообразно заменять циклоны типа ЦН-11 на циклоны типа СЦН-40, предназначенные для высокоэффективной очистки технологических газов и вентиляционных выбросов от средне- и мелкодисперсной пыли. Вынос пыли из циклона СЦН-40 в 2,5 раза меньше, чем из циклона ЦН-11, и в 1,5 раза меньше, чем из циклонов СК-ЦН-34 и УЦ-38 при равных энергозатратах.

Также следует отметить, что в перспективе можно рекомендовать использовать техническое решение по патенту РФ на полезную модель 212706 «Устройство для очистки воздуха от зерновой пыли» [9]. Использование данной модели фильтра в совокупности с циклоном типа СЦН-40 позволит в значительной степени повысить эффективность аспирационной системы зерноперерабатывающих предприятий и маслоэкстракционных заводов.

Список источников

1. Азаров В.Н. Методика определения интенсивности пылевыведений от технологического оборудования: депонированная рукопись. Москва: ВИНТИ РАН, 2002. Номер рукописи 1331-B2002.
2. Белова Т.И., Агашков Е.М., Гавришук В.И. и др. Средства снижения запыленности воздушной среды на приемных пунктах комбикормовых предприятий // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК: материалы Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург-Пушкин, 27–28 февраля 2017 г.). Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2017. Ч. 1. С. 311–314.
3. Белова Т.И., Малков К.Р., Агашков Е.М. и др. Анализ пожарной опасности на комбикормовых предприятиях // Безопасный и комфортный город: сборник научных трудов по материалам IV международной научно-практической конференции (Орел, 16–17 июня 2020 г.). Орел: Орловский государственный университет, 2020. С. 402–406.
4. Белова Т.И., Терехов С.В. Анализ условий труда работников приемных пунктов комбикормового производства // Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при технологическом ее развитии: сборник научных трудов международной научно-практической конференции (Брянск, 18–19 марта 2021 г.). Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. С. 185–191.

5. Методика определения валовых и удельных выбросов в атмосферу для зерноперерабатывающих предприятий и элеваторов [Электронный ресурс]. URL: https://continent-online.com/Document/?doc_id=31676527#pos=0;100 (дата обращения: 18.08.2022).

6. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций: СО 153-34.02.304-2003. Стандарт организации. Утвержден министерством энергетики Российской Федерации, приказ № 286 от 30.06.2003. Москва: ОАО «ВТИ», 2005. 44 с.

7. О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 15 ноября 2016 г. № 475 [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=285599> (дата обращения: 18.08.2022).

8. Оробинский В.И., Корнев А.С., Соцков О.Е. Процесс возникновения пыли на маслоэкстракционном заводе // Наука, образование и инновации в современном мире (НОИ-2019): материалы Международной научной конференции (Воронеж, 17–18 апреля 2019 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. Ч. 1. С. 213–219.

9. Устройство для очистки воздуха от зерновой пыли: патент на полезную модель 212706 Рос. Федерация. № 2022114777; заявл. 01.06.2022; опублик. 03.08.2022; Бюл. № 22. 4 с.

10. Штокман Е.А., Шилов В.А., Новгородский Е.Е. и др. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности: учебное пособие для студентов вузов. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2001. 687 с.

11. Hoang T. Effects of Grain Alignment with Magnetic Fields on Grain Growth and the Structure of Dust Aggregates // *The Astrophysical Journal*. 2022. Vol. 928(2). Article No. 102. DOI: 10.3847/1538-4357/ac5408.

12. Lee H., Hoang T., Le N., Cho J. Physical Model of Dust Polarization by Radiative Torque Alignment and Disruption and Implications for Grain Internal Structures // *The Astrophysical Journal*. 2020. Vol. 896(1). Article No. 44. DOI: 10.3847/1538-4357/Ab8E33.

13. Tram L.N., Hoang T., Soam A. et al. Modeling Rotational Disruption of Grains and Microwave Emission from Spinning Dust in AGB Envelopes // *The Astrophysical Journal*. 2020. Vol. 893(2). Article No. 138. DOI: 10.3847/1538-4357/Ab7B5E.

References

1. Azarov V.N. Metodika opredeleniya intensivnosti pylevydelenij ot tekhnologicheskogo oborudovaniya: deponirovannaya rukopis' [Methodology for determining the intensity of dust emissions from technological equipment: deposit manuscript]. Moscow: Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS), 2002. Deposit Manuscript No. 1331-B2002. (In Russ.).

2. Belova T.I., Agashkov E.M., Gavrishchuk V.I. et al. Sredstva snizheniya zapylennosti vozduшной среды na priemnykh punktakh kombikormovykh predpriyatij [Means of reducing the dustiness of the air environment at the reception points of feed enterprises]. Rol' molodykh uchenykh v reshenii aktual'nykh zadach APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Sankt-Peterburg - Pushkin, 27-28 fevralya 2017 g.) [Role of young scientists in solving urgent problems of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (St. Petersburg - Pushkin, February 27-28, 2017)]. St. Petersburg - Pushkin: St. Petersburg State Agrarian University, 2017;1:311-314. (In Russ.).

3. Belova T.I., Malkov K.R., Agashkov E.M. Analiz pozharnoj opasnosti na kombikormovykh predpriyatiyakh [Analysis of fire hazard in the feed mill ventures grain processing enterprises]. Bezopasnyj i komfortnyj gorod: sbornik nauchnykh trudov po materialam IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Orel, 16-17 iyunya 2020 g.) [Safe and comfortable city: a collection of scientific papers based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference (Orel, June 16-17, 2020)]. Orel: Orel State University Press; 2020:402-406. (In Russ.).

4. Belova T.I., Terekhov S.V. Analiz uslovij truda rabotnikov priemnykh punktov kombikormovogo proizvodstva [Analysis of the Working Conditions of Employees of Feed Production Reception Centers]. Vklad nauki i praktiki v obespechenie prodovol'stvennoj bezopasnosti strany pri tekhnogennom ee razvitanii: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Bryansk, 18-19 marta 2021 g.) [Contribution of science and practice to ensuring food security of the country in the process of its technogenic development: collection of scientific papers of the international scientific and practical conference (Bryansk, March 18-19, 2021)]. Bryansk: Bryansk State Agrarian University; 2021:185-191. (In Russ.).

5. Metodika opredeleniya valovykh i udel'nykh vybrosov v atmosferu dlya zernopererabatyvayushchikh predpriyatij i elevatorov [Methodology for determining gross and specific emissions into the atmosphere for grain processing enterprises and elevators]. URL: https://continent-online.com/Document/?doc_id=31676527#pos=0;100. (In Russ.).

6. Metodicheskie ukazaniya po raschetu vybrosov oksidov azota s dymovymi gazami kotlov teplovykh elektrostantsij: SO 153-34.02.304-2003. Standart organizatsii. Utverzhdn ministerstvom energetiki Rossijskoj Federatsii, prikaz № 286 ot 30.06.2003 [Methodological guidelines for the calculation of nitrogen oxide emissions from flue gases of boilers of thermal power plants: CO 153-34.02.304-2003. The standard of the organization. Approved by the Ministry of Energy of the Russian Federation, Order No. 286 of 30.06.2003]. Moscow: All-Russian Heat Engineering Research Institute; 2005. 44 p. (In Russ.).

7. O vnesenii izmenenij v federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti "Pravila bezopasnosti vzryvopozharoopasnykh proizvodstvennykh ob'ektov khraneniya i pererabotki rastitel'nogo syr'ya": prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru (Rostekhnadzor) ot 15 noyabrya 2016 g. № 475 [On Amendments to the Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety Rules for Fire and Explosion Safety Production Facilities for Storage and Processing of Plant Raw Materials": Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor) of November 15, 2016 No. 475]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=285599>. (In Russ.).

8. Orobinsky V.I., Kornev A.S., Sotskov O.E. Process vznikoveniya pyli na masloekstraktsionnom zavode [The process of dust formation at an oil extraction plant]. Nauka, obrazovanie i innovatsii v sovremennom mire (NOI-2019): materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii (Voronezh, 17-18 aprelya 2019 g.) [Science, education and innovations in the modern world (NOV-2019): Proceedings of the International Scientific Conference (Voronezh, 17-18 April 2019)]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University; 2019;1:213-219. (In Russ.).

9. Ustrojstvo dlya ochistki vozdukhа ot zernovoj pyli [Device for air purification from grain dust]: patent na poleznuyu model' 212706 Ros. Federatsiya. № 2022114777; zayavleno 01.06.2022; opublikovano 03.08.2022; Byul. № 22 = Utility model patent 212706 Russian Federation. No. 2022114777; claimed 01.06.2022; published 03.08.2022; Bulletin 22. 4 p. (In Russ.).

10. Shtokman E.A., Shilov V.A., Novgorodsky E.E. et al. Ventilyatsiya, konditsionirovanie i ochistka vozdukhа na predpriyatiyakh pishchevoj promyshlennosti: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov [Ventilation, air conditioning and air purification in the food industry: a textbook for university students]. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities (ACU); 2001. 687 p. (In Russ.).

11. Hoang T. Effects of Grain Alignment with Magnetic Fields on Grain Growth and the Structure of Dust Aggregates. *The Astrophysical Journal*. 2022;928(2):102. DOI: 10.3847/1538-4357/ac5408.

12. Lee H., Hoang T., Le N., Cho J. Physical Model of Dust Polarization by Radiative Torque Alignment and Disruption and Implications for Grain Internal Structures. *The Astrophysical Journal*. 2020;896(1):44. DOI: 10.3847/1538-4357/Ab8E33.

13. Tram L.N., Hoang T., Soam A. et al. Modeling Rotational Disruption of Grains and Microwave Emission from Spinning Dust in AGB Envelopes. *The Astrophysical Journal*. 2020;893(2):138. DOI: 10.3847/1538-4357/Ab7B5E.

Информация об авторах

В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», main@agroeng.vsau.ru.

А.С. Корнев – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», kornev.andr@mail.ru.

Д.Г. Тертерашвили – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», terterashvili26@gmail.com.

М.А. Заяц – обучающийся агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», smachin@agroeng.vsau.ru.

Information about the authors

V.I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, main@agroeng.vsau.ru.

A.S. Kornev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, kornev.andr@mail.ru.

D.G. Terterashvili, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, terterashvili26@gmail.com.

M.A. Zayats, Student, Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, smachin@agroeng.vsau.ru.

Статья поступила в редакцию 09.11.2022; одобрена после рецензирования 25.12.2022; принята к публикации 15.01.2023.

The article was submitted 09.11.2022; approved after reviewing 25.12.2022; accepted for publication 15.01.2023.

© Оробинский В.И., Корнев А.С., Тертерашвили Д.Г., Заяц А.М., 2023