002110

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г. И. Носова»**
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000
Тел.: 8 (3519) 29-84-02; 8 (800) 100-19-34
E-mail: mgtu@magtu.ru; http://www.magtu.ru
ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437,
ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation
Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
**«Nosov Magnitogorsk State
Technical University»**
(FSBEIHE «NMSTU»)
38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000
Tel.: +7 3519 298 402; 8 (800) 100-19-34
E-mail: mgtu@magtu.ru; http://www.magtu.ru
OKPO 02069384, OGRN 1027402065437
INN/KPP 7414002238/745601001

24.03.2026 № 49.06-930

На/To № _____ от/dated _____

Утверждаю:

Проректор по научной и
инновационной работе
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

_____ О.Н. Тулупов
24.03 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Курносова Ильи Юрьевича «Обоснование параметров осаждения пыли продуктов подготовки железорудного концентрата при орошении с применением метода пульсирующей вентиляции», представленную в экспертный совет 2.10.3 НИТУ МИСИС на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.3 — «Безопасность труда».

Представленная Курносовым И.Ю. диссертация посвящена исследованию процесса осаждения пыли руды железной агломерационной орошением с дополнительным применением метода пульсирующей вентиляции, на этапе подготовки продуктов железорудного концентрата (ППЖК) горно-металлургического предприятия. Идея и цель работы заключается в повышении эффективности и обосновании оптимальных параметров пылеосаждения орошением на основании дополнительного применения метода пульсирующей вентиляции.

Актуальность темы диссертации определяется высоким уровнем пылевого загрязнения в горно-металлургической промышленности, обусловленным сложностью осаждения тонкодисперсных фракций при

интенсификации производственных процессов. Превышение допустимых концентраций пыли в 100 и более раз и высокий процент работников, подверженных воздействию аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (до 26,1% в добыче руд), приводят к росту профессиональной заболеваемости, что несет серьезные последствия в социальном и экономическом аспектах. Обратная тенденция к росту заболеваемости, наблюдаемая с 2020 по 2024 год (с 10,91% до 14,61%), выявила недостаточную эффективность применяемых изолированных методов пылеподавления. Высокие финансовые затраты на покупку, установку и обслуживание существующих систем (орошение, фильтрация) снижают практическую эффективность таких решений для предприятий и вызвали необходимость освоения комбинированных подходов к очистке воздуха. В свою очередь, повышение эффективности пылеосаждения потребовало учета взаимосвязи гидродинамических и аэродинамических факторов, в частности, совместного применения орошения и метода пульсирующей вентиляции, а также определения их рациональных параметров на этапе подготовки железорудного концентрата. Исходя из вышеизложенного, совершенствование метода пылеосаждения орошением путем его комбинирования с пульсирующей вентиляцией для снижения пылевой нагрузки и повышения надежности технологического оборудования является актуальной научной задачей, решение которой имеет важное народнохозяйственное значение.

Тема диссертации соответствует области исследований научной специальности 2.10.3 — «Безопасность труда» пунктам 6, 10.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 155 наименований, трех приложений, включает 18 таблиц и 74 рисунка.

Содержание диссертации включает исследование состояния вопроса, а также изложение и доказательство защищаемых научных положений.

Первая глава работы посвящена комплексному анализу состояния пылевой обстановки на горно-металлургических предприятиях Российской Федерации. Автор приводит статистические данные, свидетельствующие о высоком уровне загрязнения воздушной среды аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД). В главе рассмотрены существующие методы пылеподавления (жидкостное орошение, рукавные фильтры, циклоны, скрубберы), проанализированы их преимущества и недостатки, в частности, высокие финансовые затраты на эксплуатацию и обслуживание. Обосновывается необходимость внедрения рискориентированного подхода и поиска более

эффективных решений, таких как комбинирование орошения с методом пульсирующей вентиляции. Автор приходит к выводу, что существующие методы обеспыливания не всегда обеспечивают необходимую эффективность при оптимальных экономических затратах, высокая концентрация пыли (превышение ПДК в 100 и более раз) и рост профессиональной заболеваемости требуют совершенствования систем пылеулавливания, а комбинированный метод (орошение + пульсирующая вентиляция) является перспективным направлением для повышения эффективности осаждения мелкодисперсной пыли.

Вторая глава описывает методику и результаты экспериментальных исследований процессов осаждения пыли. Автором разработана лабораторная установка объемом 1 м^3, оснащенная измерителем массовой концентрации аэрозольных частиц «АЭРОКОН-П», системой туманообразования с форсунками различного диаметра (10, 15, 20 мкм) и воздушным пульсатором. Проведено сравнение гравитационного осаждения, осаждения только орошением и комбинированного метода. Исследовано влияние диаметра форсунок и параметров пульсации на кинетику осаждения аэрозоля. В работе экспериментально доказано, что применение пульсирующей вентиляции совместно с орошением сокращает время осаждения пыли по сравнению с орошением. Полученные данные подтверждают возможность снижения концентрации пыли до безопасных уровней за меньшее время при использовании данного комбинированного метода. При этом наибольшая эффективность достигается при использовании форсунок диаметром 10 мкм в технологии «сухого тумана», обеспечивающих наилучшее увлажнение воздуха.

Третья глава содержит разработку расчетного аппарата и математического моделирования процесса пылеосаждения. Автор использует методы машинного обучения (алгоритм «Случайный лес») и математико-статистический анализ для создания модели, предсказывающей концентрацию пыли в зависимости от управляющих параметров (диаметр форсунки, частота импульсов, расход воздуха). Введен интегральный показатель качества осаждения и коэффициент осаждения. Проведена валидация модели путем сравнения расчетных данных с экспериментальными результатами. Разработанная математическая модель адекватно описывает процесс массопереноса в условиях комбинированного пылеосаждения. Применение методов машинного обучения позволило повысить точность прогнозирования времени осаждения и концентрации аэрозоля при использовании комбинированного метода.

Четвертая глава посвящена апробации полученных результатов в промышленных условиях. Автор обосновывает динамическое подобие потоков воздуха между лабораторной установкой и производственным участком (равенство чисел Рейнольдса $Re = 2{,}65\times10^5$). Описан потенциал внедрения комбинированного метода на участке разгрузки продуктов подготовки железорудного концентрата, а также представлены результаты пробных испытаний на полимерперерабатывающем предприятии. Оценено влияние внедрения на безопасность труда, надежность оборудования и экономические показатели. Результаты лабораторных исследований корректно переносятся на реальные производственные условия, что подтверждает практическую значимость разработанного метода. Внедрение данного подхода позволяет сократить время осаждения пыли примерно в 1,4 раза и повысить эффективность пылеподавления более чем на 37% по сравнению с традиционным орошением. Кроме того, применение метода способствует снижению аварийности оборудования за счёт уменьшения пылевой нагрузки, а также улучшает санитарно-гигиенические условия труда, что в совокупности обеспечивает как технологические, так и социально-экономические преимущества при внедрении в промышленную практику.

В результате проведенного анализа можно констатировать, что Ильей Юрьевичем сформирована целостная и обоснованная исследовательская концепция, имеющая высокую ценность как для развития науки, так и для решения прикладных задач. Высокая запыленность воздушной среды продуктами подготовки железорудного концентрата (пылью железной агломерационно руды) закономерно приводит к росту профессиональных заболеваний и аварийности оборудования, а существующие методы не обеспечивают должной эффективности осаждения тонкодисперсных фракций. Внедрение комбинированного метода (орошение с применением пульсирующей вентиляции) интенсифицирует коагуляцию частиц, что, в свою очередь, приводит к сокращению времени осаждения пыли в 1,4 раза, т.е. повышению уровня безопасности по пылевому фактору и надежности технологического оборудования. Такая последовательность становится закономерностью при учете предложенных автором рациональных параметров воздействия (частота пульсатора ≈13 Гц, форсунка ≈10 мкм, расход воздуха на пульсаторе 90 – 104 $м^3$/ч) и работает, как указывает автор, масштабируемо от лабораторной установки до промышленного участка (по критерию подобия Рейнольдса). В целом в диссертации дается обоснование выводам, которые целиком и полностью

соответствуют задачам, поставленным в работе, и доказательству защищаемых научных положений.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

Основные выводы и рекомендации диссертации в достаточной мере отражены в 10 публикации, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 8 в изданиях, индексируемых в Scopus.

Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и практики

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснованы рациональные параметры орошения и пульсирующей вентиляции для повышения эффективности коагуляции частиц аэрозоля, ускорения осаждения коагулированных частиц пыли;
- разработана математическая модель массопереноса в условиях пылеосаждения орошением и пульсирующей вентиляции описывающая комбинированный метод осаждения пыли руды железной агломерационной с учетом предложенного коэффициента осаждения;
- обосновано повышение уровня безопасности по пылевому фактору на основе совместного применения орошения и пульсирующей вентиляции.

Научное значение работы заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании методологии снижения запыленности воздушной среды на объектах горно-металлургического комплекса путем комбинирования орошения с методом пульсирующей вентиляции. Выявлены закономерности интенсификации коагуляции аэрозоля под воздействием импульсов давления, а также установлены зависимости эффективности пылеосаждения от диаметра форсунок, частоты пульсаций и расхода воздуха, подтвержденные разработкой математической модели массопереноса с использованием методов машинного обучения. Основу методологии составляют определенные рациональные параметры системы (диаметр форсунки ≈10 мкм, частота ≈13 Гц, расход воздуха 90 – 104 м³/ч), обеспечивающие снижение времени осаждения пыли в 1,4 раза. Применение полученных результатов позволит предотвратить профессиональные заболевания работников, снизить аварийность технологического оборудования за счет уменьшения пылевой нагрузки и минимизировать безвозвратные потери сырья при подготовке железорудного концентрата.

Практическую значимость исследований составляет разработанный комбинированный метод пылеосаждения и инженерная методика обоснования рациональных параметров орошения с применением пульсирующей вентиляции. Методика может использоваться как при проектировании новых вентиляционных и пылеосадительных систем на объектах горно-металлургического комплекса, так и для текущего планирования модернизации действующих участков разгрузки продуктов подготовки железорудного концентрата. Определение рациональных параметров воздействия (диаметр форсунки, частота импульсов, расход воздуха) позволяет выявлять режимы с максимальным коэффициентом осаждения и на основе разработанной математической модели с высокой точностью управлять концентрацией пыли путем внедрения соответствующих технических и технологических мероприятий по повышению уровня безопасности и надежности оборудования по пылевому фактору. Особую практическую ценность, на наш взгляд, представляет собой разработанное специализированное программное обеспечение на основе машинного обучения, позволяющее осуществлять прямой и обратный расчет времени осаждения с учетом обеспечения динамического подобия потоков воздуха лабораторной установки и производственного участка.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

– соответствием методологии исследования процессов массопереноса при комбинированном пылеосаждении принципам физического и математического моделирования аэрогидродинамических систем;

– применением апробированных методов машинного обучения (алгоритм «Случайный лес») и математико-статистического анализа для установления зависимостей концентрации аэрозоля от управляющих параметров процесса (диаметр форсунки, частота пульсаций, расход воздуха);

– достаточным объемом и представительностью экспериментальной выборки (240 экспериментов и более 280 000 измерений), высокими значениями коэффициента детерминации в полученных моделях (R^2 = 0,998 для обучающей выборки и R^2 = 0,987 для тестовой);

– воспроизводимостью результатов при использовании независимых методов измерения концентрации аэрозолей (весовой метод и измеритель «АЭРОКОН-П» с расхождением не более 25%), обеспечением динамического подобия потоков воздуха ($Re = 2{,}65\times10^5$) между лабораторной установкой и производственными условиями, а также применением современных методов поверки измерительных приборов и статистической обработки данных.

Язык и стиль изложения материала

Материалы исследований изложены логически последовательно, четким и ясным стилем, в каждом разделе диссертации приводятся выводы. Результаты исследований информативно представлены в форме таблиц и иллюстраций, текст диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК.

Соответствие содержания автореферата и диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Разработанная автором математическая модель и расчетный аппарат по осаждению пыли, а также методика исследования пылеосаждения комбинированным методом могут использоваться:

– в местах контроля концентрации пыли при разгрузке продуктов агломерационных, коксохимических и других производств горно-металлургических комплексов (разгрузка в вагоноопрокидывателях, дробление при обогащении);

– при проектировании систем вентиляции на горно-металлургических производствах («Норникель», «Северсталь», «НЛМК»);

– для оптимизации режимов работы существующих систем аспирации с целью снижения энергопотребления и повышения степени очистки воздуха («ЕВРАЗ», «Металлоинвест», «Мечел»);

– при расчете размеров санитарно-защитных зон и оценке экологических рисков в промышленных регионах (Роспотребнадзор, Росприроднадзор, проектные институты «Сибирский Гипромез», «Уралмеханобр»);

– в учебном процессе технических вузов при подготовке инженеров по направлениям «Техносферная безопасность» и «Промышленная экология» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИТУ «МИСИС», СПбГТУ, СибГИУ);

– при проведении научно-исследовательских работ по разработке новых пылеулавливающих устройств и технологий (ИВТЭ СО РАН, ИПКОН РАН, ВНИИБТГ);

– для экспертизы проектной документации и подтверждения соответствия требованиям промышленных экологических стандартов (Госэкспертиза России, ФБУ «Ростест», аккредитованные экологические лаборатории).

– при проведении экспертизы промышленной безопасности в деятельности Ростехнадзора и МЧС России;

– в учебных программах профильных вузов (НИТУ МИСИС, Академия ГПС МЧС России, КузГТУ).

Целесообразно продолжить исследования пылеосаждения орошением с применением метода пульсирующей вентиляции применительно для других видов, составов и дисперсности пылей (к примеру: угольной, гипсовой, асбестовой, кремнеземной и др.).

Замечания по диссертационной работе

1. Всегда ли достаточно использование одного воздушного пульсатора на производстве при определении рациональных параметров орошения методом пульсирующей вентиляции с помощью разработанной автором математической модели?
2. Диссертация не содержит сведений о надежности работы подвижно-статичного сегмента воздушного пульсатора в условиях высокой влажности и запыленности, частоту и трудозатратность очистки, технического обслуживания пульсатора для достижения эффективности комбинированного метода осаждения аэрозолей в 30–40 %.
3. Из диссертационной работы непонятно возможно ли определить рациональные параметры орошения методом пульсирующей вентиляции с помощью разработанной автором математической модели для видов руд с другим удельным весом: медно-цинковая, свинцовая, сульфидная, магнетитовая
4. Зарегистрировано ли ПО «Модель осаждения пыли ППЖК орошением и методом пульсирующей вентиляции» в национальном фонде алгоритмов и программ для электронных вычислительных машин?

Указанные замечания не исключают положительную оценку выполненных исследований, выводов и рекомендаций, обоснованных в диссертации.

Заключение

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу по актуальной теме, в которой изложено решение актуальной для горно-металлургической отрасли задачи — разработан научно обоснованный комбинированный метод повышения безопасности труда на основе осаждения пыли продуктов подготовки железорудного концентрата при орошении с применением метода пульсирующей вентиляции. Работа включает обоснование рациональных параметров процесса (диаметр форсунки ≈ 10 мкм, частота импульсов ≈ 13 Гц, расход воздуха 90–104 м³/ч), обеспечивающих снижение времени осаждения пыли в 1,4 раза и повышение эффективности пылеподавления не менее чем на 37% по сравнению с традиционным орошением, а также разработку математической модели массопереноса с использованием методов машинного обучения. Внедрение полученных результатов вносит значительный вклад в развитие отрасли путем повышения уровня промышленной безопасности, снижения аварийности технологического оборудования и минимизации профессиональных рисков.

Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям, изложенным в п. 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС» и предъявляемым к кандидатским диссертациям с точки зрения научной и практической значимости полученных результатов, а ее автор Курносов Илья Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.3 — Безопасность труда.

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены на заседании кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, протокол № «10» от 23 марта 2026 г.

Заведующий кафедрой
Кафедра промышленной экологии
и безопасности жизнедеятельности Сомова Ю.В.

E-mail: yuliya.somova.82@mail.ru
Адрес: 455000, Российская Федерация, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр-кт Ленина, д. 38.

Подпись к.т.н., доцента
Зав. кафедрой ПЭиБЖД Сомовой Ю.В. заверяю

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Д.Г. Семенова

Контакты ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Российская Федерация, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр-кт Ленина, д. 38.
Тел.: +7 (3519) 29-84-02
E-mail: mgtu@magtu.ru