

На правах рукописи

Шоджаи Барджои Саид



**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В КЕРАМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИРАНА НА ОСНОВЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА**

Специальность 2.10.3. Безопасность труда

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2026

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Родионов Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты:

Баловцев Сергей Владимирович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедры безопасности и экологии горного производства, профессор;

Смолин Антон Вячеславович

кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства», лаборатория производственных рисков, научный сотрудник.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.

Защита диссертации состоится **21 сентября 2026 г. в 13:15** на заседании диссертационного совета ГУ.7 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 21 июля 2026 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



АФАНАСЬЕВ
Павел Игоревич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований

Керамическая промышленность играет значимую роль в экономике Ирана, обеспечивая развитие строительства, экспорта и занятости за счёт богатой сырьевой базы. Однако высокий уровень энергоёмкости и трудоёмкости технологических процессов, а также использование устаревшего оборудования создают предпосылки для возникновения значительного числа вредных производственной факторов (ВПФ). Керамическое производство включает несколько последовательных технологических операций — от приёмки и хранения сырья до выпуска готовой продукции, и на каждой из них формируются специфические профессиональные риски. Основными ВПФ исследуемыми в диссертационной работе являются аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД), шум, параметры микроклимата (ПМ) и параметры освещения (ПО). Их синергетическое воздействие негативно влияет на здоровье работников, вызывая заболевания органов дыхания, нарушения слуха и терморегуляции, что подтверждается национальными и международными исследованиями. В керамической промышленности Ирана применяемые в настоящее время методы оценки профессиональных рисков в основном носят однофакторный характер и предполагают представление результатов лишь по уровням отдельного фактора риска. Подобные упрощённые подходы не могут считаться в полной мере достоверными, поскольку они не учитывают синергетическое воздействие других ВПФ. Использование однофакторных и фрагментарных систем анализа, не адаптированных к специфике технологических процессов производства керамики и национальной нормативно-правовой базе, приводит к заниженной оценке реального уровня профессиональных рисков и, как следствие, снижает эффективность мероприятий по охране труда. Отсутствие комплексного метода оценки, учитывающего реальные условия труда на предприятиях керамической отрасли, не позволяет объективно оценить синергетическое влияние ВПФ на здоровье работников. В этой связи разработка метода, способного учитывать синергетические эффекты различных факторов, приобретает особую значимость для системы управления охраной труда, здоровья работников керамической промышленности. Она способствует переходу к проактивному

управлению безопасностью труда, снижению заболеваемости, повышению эффективности производства и формированию современной системы охраны труда.

Степень разработанности темы исследования

Проблематика обеспечения безопасности труда и оценки профессиональных рисков получила широкое освещение в трудах отечественных и зарубежных исследователей, среди которых Н.Р. Самигова, С.Г. Гендлер, Н.М. Мещакова Е.Л. Базарова, Д.В. Малышев, С.Ф. Шаяхметов, С.П. Левашов, С.С. Тимофеева, Н.С. Джерихов, Л.В. Латыпова А. Askari, X. Li, M. Mahdinia, , B.O. Ceylan, A. Soltanzadeh, A. Fazlollah, B. Ayvaz, Q.Y. Chen, Q. Huang, A. Omidanidost, M. Gholi Pour, и I. Mohammadfam.

Однако существующие исследования в керамической промышленности, в том числе Ирана, носят фрагментарный характер и ограничиваются изучением отдельных факторов — АПФД (SiO_2), шума или параметры микроклимата — без интеграции их в единую систему оценки. В научно-технической литературе Ирана, России и других стран отсутствуют комплексные методики, учитывающие технологическую специфику керамического производства, синергетическое воздействие вредных производственных факторов и современные подходы к управлению безопасностью труда. Таким образом, степень разработанности темы следует оценивать, как недостаточную, что обуславливает необходимость создания метода комплексной оценки профессиональных рисков применительно к керамической промышленности Ирана.

Объект исследования – условия труда в керамической промышленности Ирана.

Предмет исследования – методы оценки безопасности труда и способы снижения профессиональных рисков на объектах керамической промышленности Ирана.

Цель работы улучшение условий труда на объектах керамической промышленности.

Идея работы разработка компенсирующих мероприятий по управлению профессиональными рисками на объектах керамической промышленности должна осуществляться на основе учёта синергетического эффекта всех выявленных негативных факторов окружающей среды.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Провести анализ современного состояния керамической промышленности, выявить основные ВПФ и оценить соответствие их значений требованиям нормативно-правовых актов.

2. Изучить и систематизировать существующие методы оценки профессиональных рисков и определить их применимость к условиям керамического производства.

3. Обосновать комплексный показатель оценки профессионального риска на основе профессиональных заболеваний для условий керамической промышленности.

4. Разработать рекомендации по управлению профессиональными рисками и улучшению условий труда применительно к условиям керамической промышленности.

Научная новизна работы:

1. Установлены статистически значимые ранговые корреляционные связи по Спирмену между уровнями воздействия АПФД (SiO_2) и показателями функции дыхания у работников керамической промышленности, а также между уровнями шумового воздействия и степенью потери слуха.

2. Разработан и научно обоснован комплексный показатель риска профессиональных заболеваний, учитывающий синергетическое воздействие ВПФ и служащий основой для разработки мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности труда и эффективности системы управления охраной труда в керамической промышленности Ирана.

Соответствие паспорту специальности. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.10.3. Безопасность труда по пунктам: 4. Развитие методологии управления профессиональными рисками, обоснование критериев и социально приемлемых уровней риска, разработка методов оценки и способов снижения профессионального риска на объектах; 5. Разработка научно обоснованных методов учета, анализа, прогноза и оценки социально-экономических последствий аварийности, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработан комплексный показатель оценки безопасности труда на основе риска возникновения профессиональных заболеваний, учитывающий синергетическое воздействие нескольких вредных производственных факторов, что расширяет научно-техническое представление о риск-ориентированном подходе в охране труда.

2. Предложен алгоритм приоритизации и ранжирования ВПФ для нескольких рабочих групп, позволяющий систематизировать оценку рисков и определить наиболее значимые источники воздействия ВПФ на здоровье работников.

3. Разработаны адресные инженерно-технические и административные мероприятия, направленные на снижение ВПФ и профилактику связанных с ними профзаболеваний на примере керамической компании «Goldis» Иран.

4. Результаты диссертационной работы использованы в производственной деятельности предприятия керамической компании Goldis (акт об использовании результатов от 27.12.2025 г.).

5. Результаты диссертационной работы подтверждены 4 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ с указанием номеров регистрации.

Методология и методы исследования

При выполнении работы использовались следующие методы исследования, включающие в себя:

1. Аналитический метод исследования научно-технических и литературных данных;

2. Методы математической статистики и анализа, такие как корреляционный анализ, теста критерий знаковых рангов Уилкоксона и метод Монте-Карло;

3. Математическое моделирование уровня производственного освещения в условиях керамического производства с помощью программы DIALux-evo.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценка вредных производственных факторов, связанных с воздействием на здоровье рабочего персонала предприятий керамической промышленности аэротехногенных и шумовых факторов, должна осуществляться на основе выявленных корреляционных зависимостей между концентраций двуокиси

кремния АПФД и отношением ФЕЖЛ и ОФВ₁, а также-уровнем шума и показателем потери слуха.

2. Оценку риска возникновения у работников профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием вредных производственных факторов, следует осуществлять при использовании расчетных моделей, отражающих зависимости индексов профессионального риска от параметров шума, микроклимата и освещенности на рабочих местах.

3. Ранжирование рабочих мест предприятий керамической промышленности следует осуществлять на основе комплексного показателя профессионального риска, учитывающего синергетический эффект воздействия АПФД, уровня шума, климатических параметров и освещенности с учетом интенсивности и продолжительности их воздействия.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается использованием математических методов обработки статистических данных, применением лицензионного программного обеспечения для проведения расчетов, а также данными экспериментальных исследований, демонстрирующих разработанного комплексного показателя профессионального риска и его применимость для оптимизации условий труда работников керамической промышленности.

Апробация основных результатов диссертационной работы проведена на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 5 международных: 1. XX Международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам (2025 г., г. Йошкар-Ола); 2. Международная научно-практическая конференция «Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: анализ задач и поиск решений» (2025 г., г. Екатеринбург); 3. Международная научно-практическая конференция «Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности» (2025 г., г. Уфа); 4. Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальный капитал общества как драйвер инновационного развития науки» (2025 г., г. Калуга); 5. 17 Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» – 2 доклада (2025 г., г. Москва).

Личный вклад автора состоит в проведении анализа как отечественных, так и зарубежных научных источников, посвящённых методам оценки профессионального риска. Проведён статистический анализ уровней ВПФ в керамической промышленности, а также выполнена оценка условий труда работников на основе предельно допустимых значений в соответствии с нормативными документами Ирана. Разработаны и запатентованы четыре программы, направленные на снижение АПФД, уровня шума, профессионального травматизма, а также на улучшение условий Е рабочих мест в керамической промышленности. Применялись индивидуальные методы оценки риска по факторам шума, АПФД (SiO_2), Е и ПМ. Разработан комплексный показатель профессионального риска воздействия ВПФ. В ходе теоретических и практических исследований разработаны рекомендации, направленные на снижение уровня ВПФ.

Публикации. в достаточной степени освещены в 16 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 7 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 141 наименование, списка иллюстративного материала и 2 приложений. Диссертация изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 27 таблиц.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность заведующему кафедрой безопасности производств, доктору технических наук, профессору Гендлеру Семёну Григорьевичу за ценные научные советы и рекомендации по выполнению диссертационного исследования. Автор выражает благодарность всему коллективу кафедры безопасности производств за помощь и поддержку, оказанные на всех этапах подготовки диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены актуальность исследования, цель, задачи работы, научная новизна и основные защищаемые положения диссертации.

В первой главе приведены сведения о развитии керамической промышленности и характеристика исследуемого предприятия, включая технологический процесс и рабочие группы. Выполнен обзор литературы по вредным производственным факторам (АПФД (SiO_2), шум, ПО и ПМ) в керамической промышленности.

Во второй главе рассмотрены методы оценки однофакторного риска для основных вредных производственных факторов, включая шум, АПФД (SiO_2), ПО и ПМ. Затем подробно описаны два комплексных показателя для оценки профессиональных рисков: первый разработан на основе уровней указанных вредных факторов, второй — на основе показателей профессиональной заболеваемости. Для каждого метода проанализированы его преимущества и ограничения.

В третьей главе выполнен анализ уровней основных ВПФ в керамической промышленности (АПФД (SiO_2), шум, ПО и ПМ) и связанных с ними профессиональных заболеваний. Представлены результаты применения каждого метода оценки профессионального риска, отражающие соответствие полученных оценок реальным условиям труда работников керамической промышленности.

В четвёртой главе представлена карта приоритизации рабочих групп и вредных производственных факторов. Также предложены инженерные и административные мероприятия, направленные на снижение уровней воздействия данных факторов.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

Основные результаты диссертации отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Оценка вредных производственных факторов, связанных с воздействием на здоровье рабочего персонала предприятий керамической промышленности аэротехногенных и шумовых факторов, должна осуществляться на основе выявленных корреляционных зависимостей между

концентраций двуоксида кремния АПФД и отношением ФЕЖЛ и ОФВ₁, а также-уровнем шума и показателем потери слуха.

Иранская керамическая промышленность является одной из ведущих отраслей, основанной на богатых сырьевых ресурсах. Исследование проведено на крупном предприятии полного цикла в провинции Йезд (≈ 936 работников, до 3 млн м² продукции в год). Использование изношенного оборудования способствует повышению уровня вредных факторов (АПФД, шум и параметры микроклимата). Краткое описание процесса производства керамики выглядит следующим образом: технологический процесс производства керамики начинается с закупки высококачественного сырья, основными компонентами которого являются диоксид кремния (SiO₂) и оксид алюминия (Al₂O₃). После поступления на предприятие сырьё проходит этап подготовки: дробление, измельчение и мокрый помол в шаровых мельницах с добавлением связующих и технологических добавок для получения однородной суспензии. Далее суспензия проходит распылительную сушку и превращается в гранулированный порошок, из которого формируется керамическое тело методом прессования или экструзии. Полученные заготовки сушат, затем покрывают глазурью для придания защитных и декоративных свойств. Следующим этапом является обжиг, во время которого формируется окончательная структура и прочность материала. После обжига изделия проходят финишную механическую обработку (шлифование, резку, полирование и др.), после чего готовая продукция сортируется, упаковывается и направляется на склад для дальнейшей реализации.

Согласно нормативам Ирана, первым этапом оценки условий труда является формирование рабочих групп. Рабочая группа — это коллектив работников, совместно выполняющих определённые производственные операции и подвергающихся схожему воздействию вредных факторов. На основе анализа технологического процесса выделено 7 рабочих групп: дробилка, шаровая мельница с распылителем, пресс-сушилка, обжиг, глазурование, линии глазурования, окончательная обработка и упаковка.

В рамках диссертационной работы исходные данные были получены в ходе производственной стажировки, а также предоставлены компанией Голдис; их статистическая обработка выполнена автором с использованием современных программных

пакетов математического анализа. Результаты обработки и статистического анализа данных ВПФ представлены на рисунке 1, при этом красная линия на каждом графике соответствует допустимым уровням, установленным нормативными документами Ирана. Статистическая обработка данных замеров четырех ВПФ — АПФД, шума, освещенности и микроклимата — показала системное несоответствие нормативным требованиям на большинстве рабочих мест.

АПФД представляет собой одну из наиболее серьезных проблем. В группе первичного дробления, где происходит интенсивное механическое разрушение породы, концентрация АПФД многократно превышает допустимые значения ($0,13 \text{ мг/м}^3$). Критическая ситуация также наблюдается в рабочих группах шаровой мельницы с распылителем и пресс-сушилок, где технологические процессы связаны с перетиранием и перемещением сухих компонентов.

Шумовое воздействие является вторым по значимости фактором риска. Наиболее высокая акустическая нагрузка зафиксирована в дробильных группах (95,51 дБ(А)). Уровни шума здесь приближаются к болевому порогу, что при длительном воздействии может приводить к развитию профессиональной тугоухости. В отличие от этого, в группах обжига, окончательной обработки и упаковки акустическая обстановка оценивается как относительно благоприятная.

Освещенность рабочих мест характеризуется повсеместным и значительным дефицитом света. В большинстве рабочих групп фактическое освещение в разы ниже гигиенических нормативов (300 лк). Наиболее остро данная проблема выражена в группах, требующих визуального контроля качества, таких как глазурирование и сортировка продукции. Низкий уровень освещенности не только создаёт зрительный дискомфорт, но и повышает риск травматизма и производственного брака.

Микроклиматические условия в целом соответствуют норме, за исключением печной группы ($T_{НС} = 25,80 \text{ }^{\circ}\text{C}$). В данной группе, в силу технологических особенностей, фиксируется стабильное превышение допустимых температур, что требует применения специальных мер защиты от перегрева.

Для подтверждения влияния ВПФ на здоровье работников был выполнен корреляционный анализ, результаты которого представлены на рисунке 2. Установлено наличие устойчивой обратной зависимости между уровнем АПФД и показателями функции дыхания (форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЕЛ), объём форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁) и отношение ОФВ₁ к ФЖЕЛ): с увеличением уровня АПФД наблюдается снижение показателей функции лёгких у работников.

Выявлена статистически значимая отрицательная корреляция между уровнем шума и нарушением слуха в правом ухе ($r_s = -0,76$), в то время как для левого уха статистически значимая корреляция не выявлена. В группах работников, подвергавшихся высокому уровню шума, отмечались наибольшие показатели потери слуха. Наблюдалась прямая, но статистически незначимая корреляция между параметрами освещённости и остротой зрения ($r_s = 0,34$ для правого глаза, $r_s = 0,40$ для левого). При этом острота зрения была выше у работников, находившихся в условиях более высокой параметров освещённости.

Таким образом, выявленные корреляционные зависимости подтверждают влияние АПФД и шума на здоровье работников и обосновывают необходимость профилактики вредных факторов.

2. Оценку риска возникновения у работников профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием вредных производственных факторов, следует осуществлять при использовании расчетных моделей, отражающих зависимости индексов профессионального риска от параметров шума, микроклимата и освещенности на рабочих местах.

В диссертационной работе обосновано, что применение однофакторных показателей профессионального риска для приоритизации рабочих групп сопряжено с высокой степенью неопределённости и противоречивостью получаемых результатов, что показано на рисунке 3. Установлено, что различные индексы формируют неодинаковое ранжирование рабочих мест, что не позволяет сформировать согласованную и устойчивую систему приоритетов. Следствием данного обстоятельства является ограничение применимости рассматриваемых показателей для принятия обоснованных управленческих решений в области охраны труда.

В диссертации рассмотрен индекс непрерывного шума рабочей среды ($W_{\text{НС}}$), который количественно оценивает риск воздействия постоянного производственного шума с учётом уровня, интенсивности и продолжительности воздействия. Значения данного индекса варьируются от 0 (благоприятные условия) до 1 (неблагоприятные условия). Расчёт показателя выполняется по уравнению (1).

$$W_{\text{НС}} = \frac{\sum_i^j k_{65-85\text{dB}} \cdot S_{0i}}{S_0}, \quad (1)$$

где — S_0 — оцениваемая площадь рабочего пространства (м^2); S_{0i} — площадь рабочего места, находящейся в пределах шумовых контуров уровнями ниже 65, 65, 70, 75, 80 и 85 дБ(А) ($i=1, \dots, 6$, где кривые соответствуют <65, 65, ..., 85 дБ(А)), (м^2); k — коэффициент, характеризующий отношение уровня опасности непрерывного шума, определяемый по уравнениям (2) и (3).

$$k = \frac{10^{0.1(L_{\text{Aeq}} - M)}}{10^{0.1(85 - M)}}, \quad (2)$$

$$L_{\text{Aeq}} = L_{\text{Aeq,Te}} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right), \quad (3)$$

где L_{Aeq} — эквивалентный уровень звукового давления с коррекцией по шкале А (дБ(А)); M — минимальный уровень шума; $L_{(\text{Aeq,Te})}$ — действительный уровень звукового давления с коррекцией по шкале А за весь рабочий цикл (дБ); T_e — фактическое время работы в течение всей смены (ч); T_0 — часов. Результаты оценки уровней риска на основе индекса $W_{\text{НС}}$ представлены на рисунке 4.

Для оценки теплового стресса применён индекс риска параметров микроклимата ($R_{\text{пм}}$), учитывающий как физиологические, так и производственные факторы тепловой среды. Значения индекса находятся в диапазоне от 0 до 100, что позволяет классифицировать условия труда от безопасных до экстремальных. Расчёт показателя выполняется по уравнению (4).

$$R_{\text{пм}} = 100 \cdot (0.5f_w + 0.2f_t + 0.2f_M + 0.1f_C) \cdot (1 - 0.25A) \cdot f_H, \quad (4)$$

где f_w — нормализованный индекс ТНС (температура по влажно-шаровому термометру). Значение параметра f_w рассчитывается по формуле (5).

$$f_w = \text{clamp} \left(\frac{T_{\text{НС}} - 20}{20} \right), \quad (5)$$

f_t — нормализованная длительность воздействия (в часах), рассчитываемая по формуле (6).

$$f_t = \text{clamp} \left(\frac{t}{8} \right), \quad (6)$$

где t — время работы под воздействием жары (до 8 ч нормируется к 1).

f_M — коэффициент метаболической нагрузки (интенсивности труда). Значение этого коэффициента для легкой работы составляет 0.3, для средней работы — 0.6, для тяжелой работы — 1.

f_C — коэффициент одежды (теплоизоляции), рассчитываемый по формуле (7):

$$f_C = \text{clamp} \left(\frac{I - 0.6}{2} \right), \quad (7)$$

f_H — уровень гидратации. Значение коэффициента f_H при адекватной гидратации равно 1, при умеренной дегидратации — 1.25, при тяжелой дегидратации — 1.5. Результаты оценки уровней риска на основе индекса $R_{\text{пм}}$ представлены на рисунке 5.

С целью количественной оценки риска нарушения визуального комфорта на рабочих местах использован индекс риска параметров освещения ($R_{\text{по}}$), объединяющий параметры освещенности, равномерности, ослепленности, цветопередачи и пульсации освещения. Значения индекса также находятся в диапазоне от 0 до 100, что позволяет классифицировать условия от оптимальных до критически неблагоприятных. Расчет показателя выполняется по формуле (8).

$$R_{\text{по}} = 100 \cdot (w_E f_E + w_U f_U + w_G f_G + w_C f_C + w_F f_F), \quad (8)$$

где w_i — весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость каждого параметра ($\sum w_i = 1$); f_i — нормализованные функции, принимающие значения от 0 до 1. Обозначения E , U , G , C и F соответствуют параметрам освещенности, равномерности освещения, ослепленности, цветопередачи и мерцания ламп соответственно. Результаты оценки уровней риска на основе индекса $R_{\text{по}}$ представлены на рисунке 6.

Результаты ранжирования рабочих групп на основе однофакторных показателей, представленные в предыдущих разделах, приведены в таблице 1.

Таким образом, применение расчетных моделей и интегральных индексов повышает объективность оценки профессиональных рисков и обеспечивает обоснованное ранжирование рабочих мест.

3. Ранжирование рабочих мест предприятий керамической промышленности следует осуществлять на основе комплексного показателя профессионального риска, учитывающего синергетический эффект воздействия АПФД, уровня шума, климатических параметров и освещенности с учетом интенсивности и продолжительности их воздействия.

Разработан комплексный метод оценки профессиональных рисков, учитывающий синергетическое воздействие всех факторов — АПФД, шума, ПО и ПМ. Общее уравнение данного подхода приведено в виде уравнения (9):

$$CRA = \frac{\sum_{i=1}^n RR_i \cdot p_i \cdot t_i}{\sum P \cdot T} \cdot 100 \quad (9)$$

где CRA (comprehensive risk assessment) — комплексная оценка рисков (%); RR — рейтинг риска (risk rating) как весовой коэффициент (без единицы измерения); p_i — численность работников в каждой рабочей группе (чел.); t_i — среднее время воздействия для группы работ (ч); P — общее количество работников (чел.); T — общее время воздействия (ч).

Значение RR для каждого вредного производственного фактора определялось с использованием метода комплексной оценки профессиональных рисков для здоровья (Comprehensive Occupational Health Risk Assessment, COHRA) по формуле (10).

$$RR = \sqrt{ER(DR) \cdot HR} \quad (10)$$

где ER — рейтинг воздействия (без единицы измерения); DR — рейтинг дефицита (без единицы измерения); HR — тяжесть потенциальных последствий воздействия факторов (без единицы измерения).

Для определения уровня ER (DR) сначала вычисляют средневзвешенное еженедельное воздействие (E) каждого фактора, учитывающее продолжительность воздействия, частоту воздействия, количество рабочих дней и интенсивность вредного фактора. Расчёт показателя выполняется по формуле (11).

$$E = \frac{F \cdot D \cdot M}{W} \quad (11)$$

где F — частота воздействия в неделю (раз/неделя); D — средняя продолжительность каждого воздействия (ч); M — это средние уровни воздействия АПФД (мг/м³), шума (дБ(А)), параметры освещения (лк) и параметры микроклимата, (°C); W — среднее количество рабочих часов в неделю (ч/неделя).

Значения ER (DR) определяются через отношение E к допустимому пределу воздействия (Permissible Exposure Limit, PEL) (ER для шума, АПФД, ПМ) и PEL к E (DR для ПО) с помощью таблицы 2, что унифицирует оценки воздействия и обеспечивает последовательность расчёта рейтинга риска.

Значение HR определяется по степени потенциального вреда — от лёгких отклонений до тяжёлых хронических заболеваний, угрожающих жизни. Матрица факторов RR для рабочих групп представлена на рисунке 7. Данная матрица отражает значения факторов ER (DR) и HR для соответствующих рабочих групп. Полученное значение RR представлено в таблице 3.

CRA показывает различия между рабочими группами, представленные на рисунке 8. Наибольшее значение CRA наблюдается на рабочей группе дробилка (512 %), далее следуют линия глазирования, обжиг, пресс-сушилка, шаровая мельница с распылением, глазурь и окончательная обработка и упаковка.

На основе значений CRA с использованием принципа Парето была выполнена приоритизация ВПФ и рабочих групп, результаты которой представлены на рисунке 9. Она выделяет группы с наибольшим вкладом в общий риск для приоритетного внедрения инженерно-технических и управленческих мер: верхние 20 % CRA — высокий приоритет, 20–80 % — средний, нижние 20 % — низкий приоритет. АПФД имеет высокий приоритет (CRA > 384 %), шум — средний (315–384 %), ПО и ПМ — низкий (< 315 %). Ранжирование рабочих групп: высокий приоритет (CRA ≥ 422 %) — дробилка; средний (152–422 %) — шаровая мельница с распылением, пресс-сушилка, линия глазирования, обжиг; низкий (<152 %) — окончательная обработка и упаковка и глазурь.

Таким образом, комплексный показатель риска обеспечивает объективное ранжирование рабочих мест и определение приоритетных мер защиты работников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена оценке воздействия четырёх основных ВПФ на рабочих местах в керамической промышленности, разработке показателя комплексной оценки риска и обоснованию целевых мероприятий по снижению их уровня и влияния на здоровье работников. По результатам диссертационного исследования сделаны следующие выводы:

1. Проведён всесторонний анализ состояния условий труда в керамической промышленности Ирана. Выявлены и количественно оценены основные ВПФ, характерные для данной отрасли: АПФД, содержащие SiO_2 , шум, параметры микроклимата и параметры освещения. Установлено, что на ряде рабочих групп (дробилка, шаровая мельница с распылением, пресс-сушилка) уровни воздействия АПФД и шума превышают установленные в Иране предельно допустимые уровни. Выявлена значительная неравномерность условий освещённости и выраженная тепловая нагрузка, особенно в зонах обжига, окончательной обработки и упаковки.

2. Выявлены статистически значимые отрицательные корреляции между концентрацией SiO_2 и показателями функции внешнего дыхания (ФЖЕЛ, ОФВ_1 и индекс Тиффно). Анализ слуховой функции подтвердил распространённость профессиональной тугоухости с характерным аудиометрическим профилем, а также положительную корреляцию с уровнями шумового воздействия.

3. Количественная оценка риска для каждого фактора показала, что:

3.1. Расчётом пожизненного онкологического риска (LCR) и коэффициента опасности (HQ) показано, что, хотя средние значения не превышали пороговых значений, вероятностным анализом (метод Монте-Карло) выявлено, что для части работников (95-й перцентиль) неканцерогенный риск мог быть неприемлемым ($\text{HQ} > 1,0$), что требовало целевых мер контроля.

3.2. Количественной оценкой риска воздействия шума (индекс $W_{\text{нс}}$) показано, что значения варьировали в широком диапазоне — от 0,056 до 0,99. Наиболее неблагоприятные условия, характеризовавшиеся значениями, близкими к 1, отмечены в рабочих группах дробилке, шаровой мельнице с распылением и

окончательной обработке и упаковке, чем подтверждена необходимость первоочередного внедрения шумозащитных мероприятий.

3.3. Оценкой риска теплового стресса (индекс R_{tm}) продемонстрирована значительная вариативность: критический уровень риска отмечен на печи обжига (72%), очень высокий – на пресс-сушилке (61,5%), а высокий – в группах глазурования, окончательной обработки и упаковки, а также шаровой мельницы с распылением.

3.4. Оценкой риска недостаточной освещённости (индекс R_{po}) выявлены максимальные значения в группе шаровой мельнице с распылением (72%), что указало на необходимость немедленной оптимизации параметров освещения.

4. Разработан и апробирован новый комплексный метод оценки профессионального риска (CRA), количественно оценивающий совокупное и синергетическое воздействие нескольких ВПФ, что обеспечивает более достоверную и адекватную картину общего уровня риска на рабочем месте по сравнению с однофакторными подходами.

5. Результаты диссертационного исследования внедрены в производственный процесс керамической промышленности Ирана и России, имеются акты внедрения, а также получены 4 свидетельства о регистрации программ ЭВМ позволяющих автоматизировать расчет уровней ВПФ и комплексных показателей профессионального риска, что подтверждает прикладную значимость диссертационной работы.

Диссертационная работа вносит вклад в развитие риск-ориентированного подхода в охране труда и может служить научной и методической основой для дальнейших исследований и практического совершенствования промышленных процессов в керамической отрасли.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Родионов В. А. Стратегия комплексной оценки профессиональных рисков воздействия вредных факторов

производственной среды / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои** // Безопасность труда в промышленности. -2025. № 10. – С. 21–26.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

2. Rodionov, V. An Integrated Modified Failure Mode Effects Analysis Shannon Entropy Combined Compromise Solution Approach to Safety Risk Assessment in Stone Crusher Unit of Ceramic Sector / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe et al.** // International Journal of Engineering. – 2026. – Vol. 39. – PP. 1976-1987.

3. Rodionov, V. Noise climate assessment in ceramic industries (Iran) using acoustic indices and its control solutions / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe**, A. M. Vaziri Sereshk // Advances in Environmental Technology. – 2025. – Vol. 11, No. 1. – PP. 91-115.

4. Gendler, S. Sustainable illumination: Experimental and simulation analysis of illumination for workers wellbeing in the workplace / S. Gendler, **S. Shojaee Barjoe** // Heliyon. – 2024. – Vol. 24, No. 10. – PP. e40745. Elsevier

5. Rodionov, V. Occupational injuries associated with safety climate among ceramic industry workers in Iran / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe**, N. Rezaei // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – PP. 24585. Nature

6. Rodionov, V. Respirable Dust in Ceramic Industries (Iran) and its Health Risk Assessment using Deterministic and Probabilistic Approaches / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe** // Pollution. – 2024. – Vol. 10, No. 4. – PP. 1206-1226.

7. Rodionov, V. A fuzzy set-based hybrid SWARA-CoCoSo-William Fine framework for safety risk assessment in a ceramic granule preparation unit / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe et al.** // Proceedings of the Indian National Science Academy. – 2025. – PP. 1-27. Springer Nature

8. Rodionov, V. Comprehensive risk profiling of occupational harmful factors in the ceramic industry: a case study from Iran / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe** // Environmental Science and Pollution Research. – 2026. – PP. 1-30. Springer Nature

Свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689544 Российская Федерация. Программа для

расчета искусственного освещения РМ и производственных площадей на предприятиях керамической промышленности Ирана: заявл. 23.10.2025: опубл. 29.10.2025/ В.А. Родионов, С. Шоджаи Барджои; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689450 Российская Федерация. Программа для расчета снижения уровня шума на предприятиях керамической промышленности Ирана: заявл. 15.10.2025: опубл. 28.10.2025 / В.А. Родионов, С. Шоджаи Барджои; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025687512 Российская Федерация. Программа для расчета факторов риска производственного травматизма на предприятиях керамической промышленности Ирана: заявл. 15.09.2025: опубл. 10.10.2025 / В.А. Родионов, С. Шоджаи Барджои; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025693729 Российская Федерация. Программа для определения пылевой нагрузки на работников предприятий керамической промышленности Ирана: заявл. 17.11.2025: опубл. 01.12.2025 / В.А. Родионов, С. Шоджаи Барджои ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

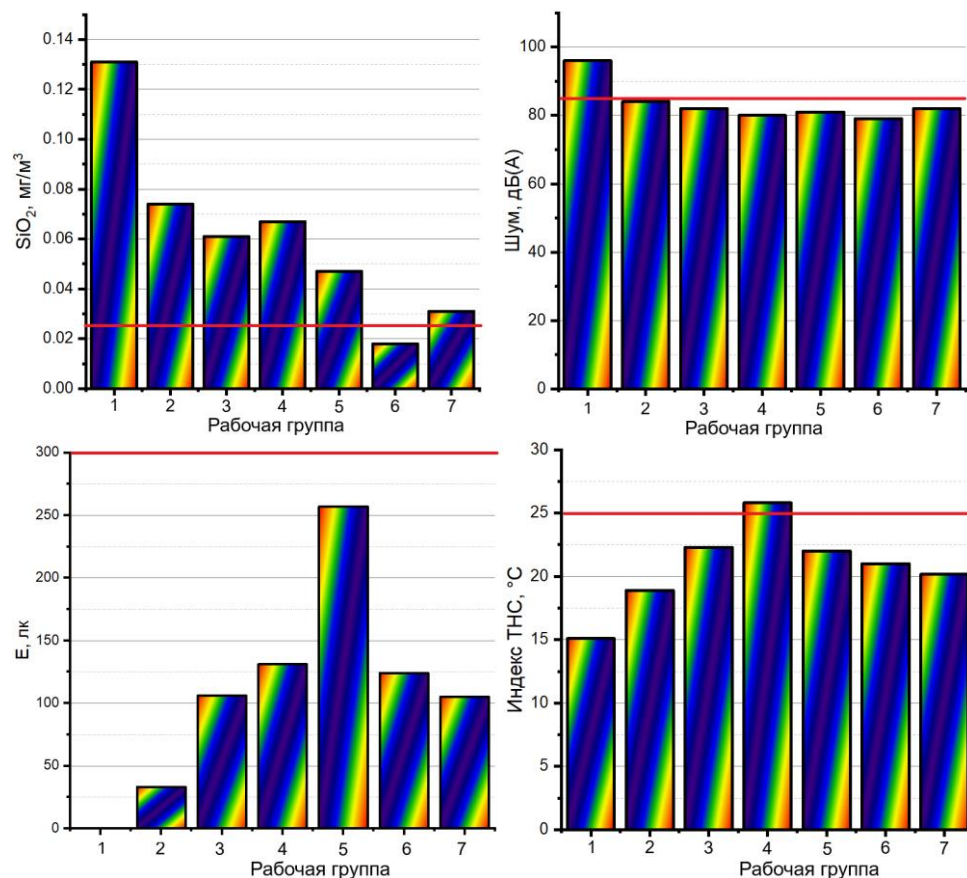


Рисунок 1 – Уровни вредных производственных факторов по рабочим группам: дробилка (1), шаровая мельница с распылением (2), глазурь (3), пресс-сушилка (4), линия глазурования (5), печь (6) и окончательная обработка и упаковка (7)

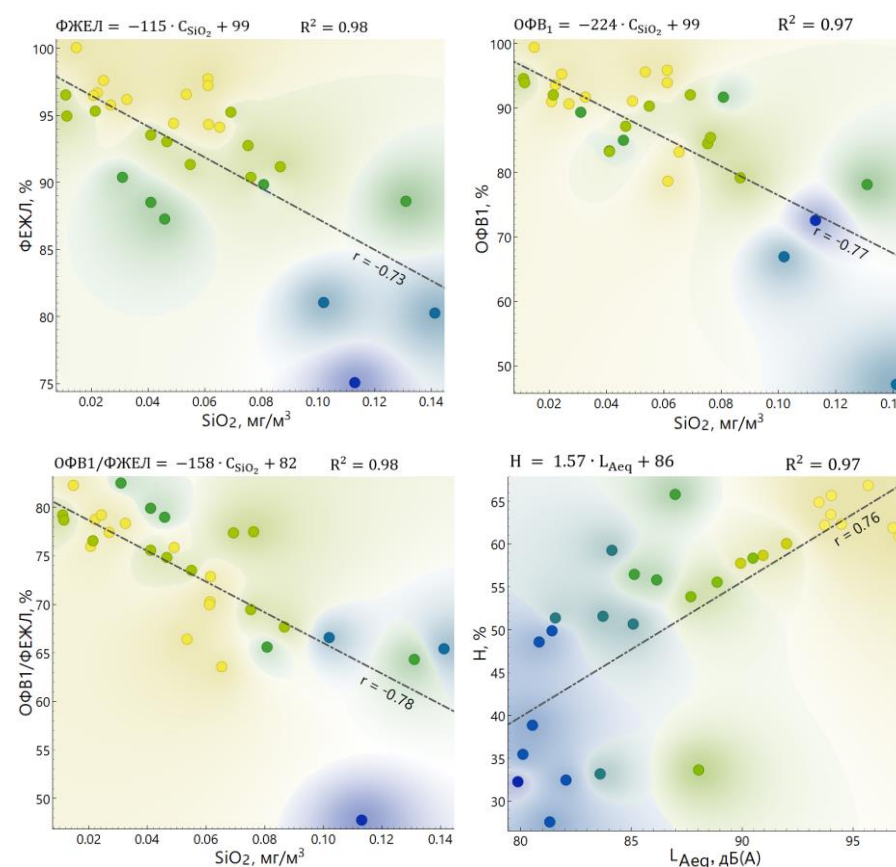


Рисунок 2 – Ранговая корреляция Спирмена между концентрацией АПФД (SiO₂) и показателями функции дыхания работников керамического производства, а также уровнями шума (L_{Aeq}) и потерей слуха (Н)

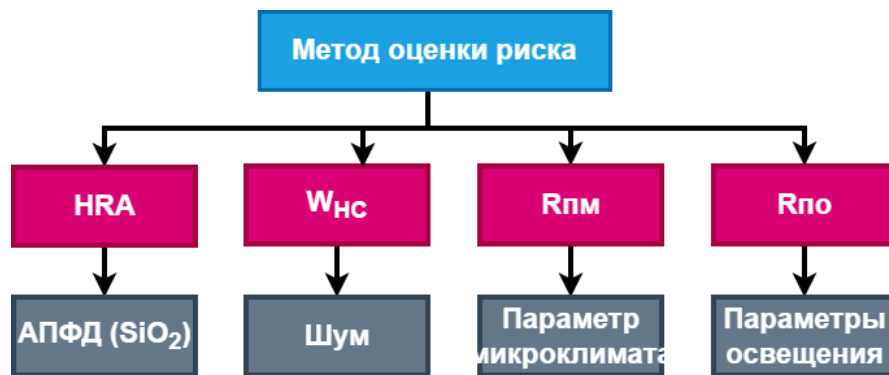


Рисунок 3 – Методы оценки риска по одному фактору

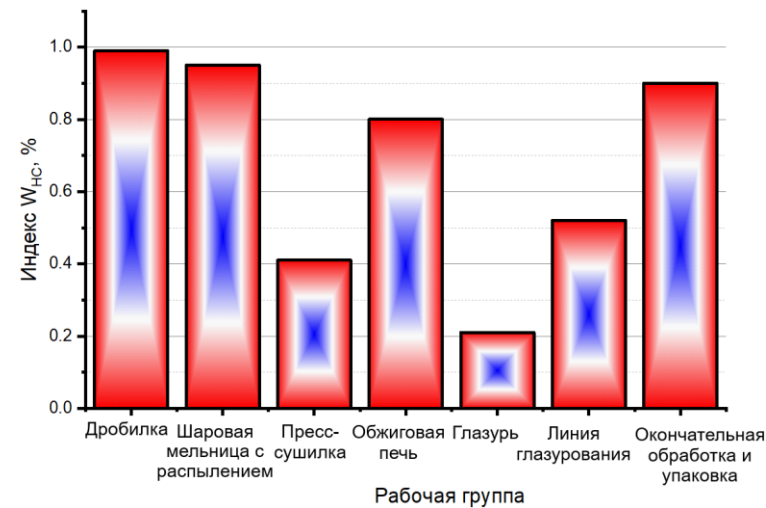


Рисунок 4 – Количественная оценка рисков воздействия шума с использованием индекса $W_{нс}$ по рабочим группам

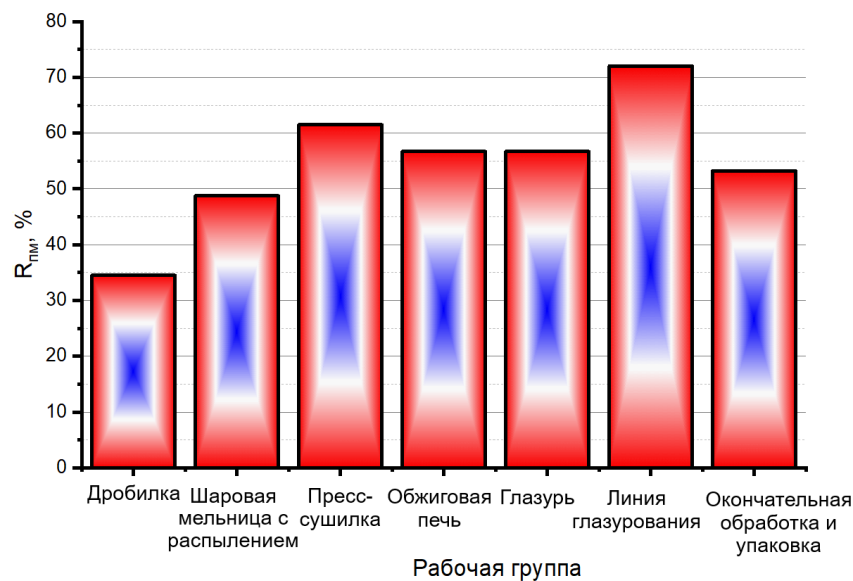


Рисунок 5 – Количественная оценка риска параметров микроклимата по рабочим группам

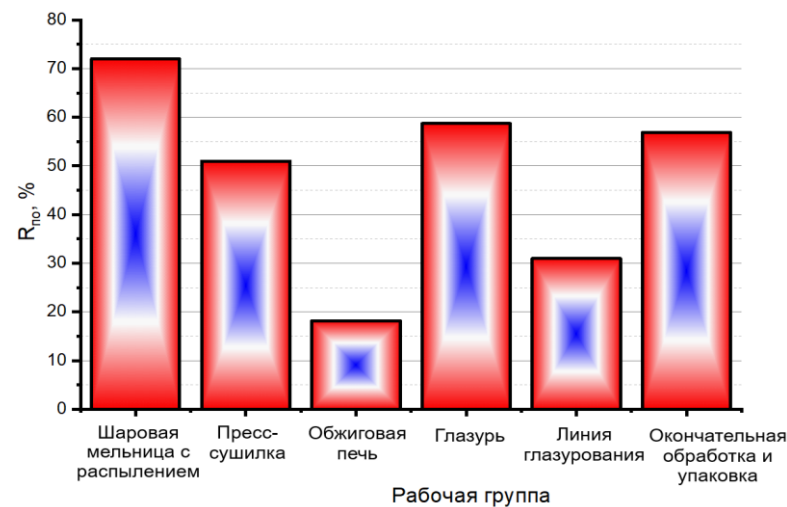


Рисунок 6 – Оценочные значения риска параметров освещённости по рабочим группам

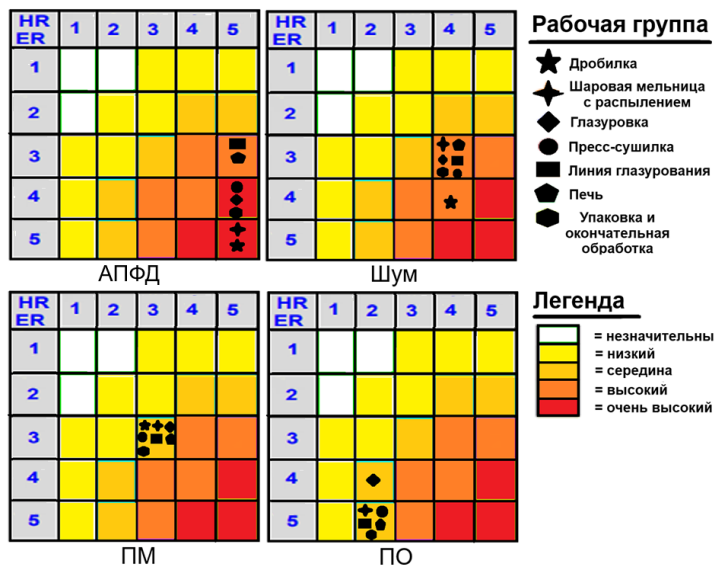


Рисунок 7 – Уровни параметров степени воздействия (ER) и тяжести потенциальных последствий воздействия факторов (HR) для АПФД (SiO₂) шума, параметров микроклимата и параметров освещённости по рабочим группам

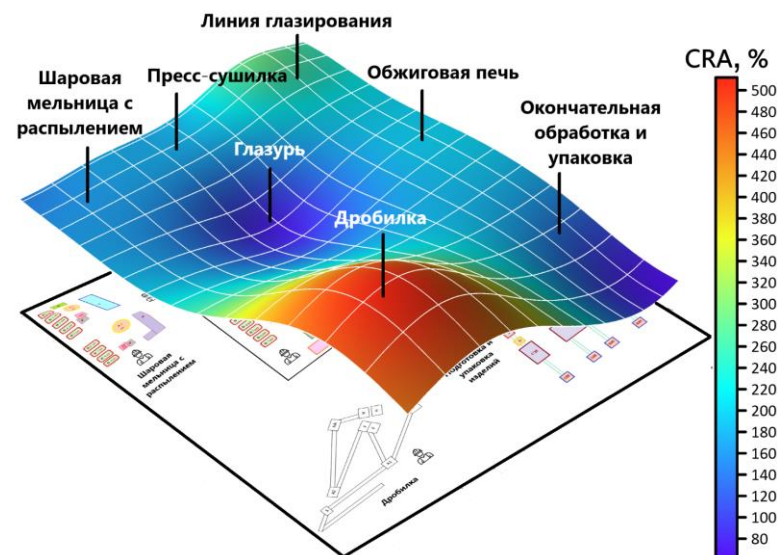


Рисунок 8 – Пространственное распределение CRA по рабочим группам

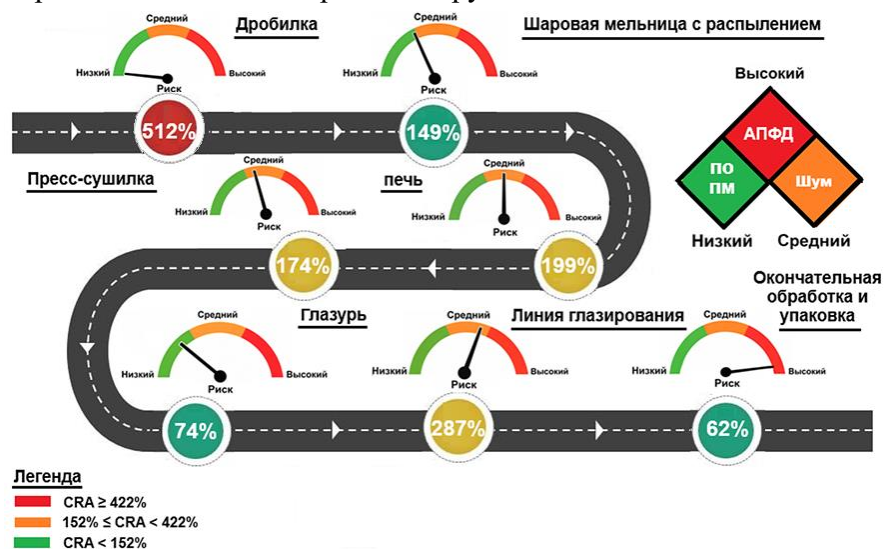


Рисунок 9 – Карта приоритизации рабочих групп и вредных производственных факторов для внедрения целенаправленных мер в керамической промышленности

Таблица 1 – Ранжирование рабочих групп по одному фактору

Рабочая группа	W_{HC}	$R_{ПМ}$	$R_{ПО}$
Дробилка	1	6	7
Шаровая мельница с распылением	2	5	1
Пресс-сушилка	6	2	4
Обжиговая печь	7	1	5
Глазирования	4	3	6
Линии глазирования	5	3	2
Окончательная обработка и упаковка	3	4	3

Таблица 2 – Шкала ER (DR) для стандартизации значений ВПФ.

ER (DR) значения	1	2	3	4	5
E/PEL	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-2	2<
PEL/E					

Таблица 3 – Значения RR факторов для рабочих групп.

Рабочая группа	АПФД	Шум	ПО	ПМ
Дробилка	5	4	-	3
Шаровая мельница с распылением	5	3.46	3.16	3
Пресс-сушилка	4.47	3.46	3.16	3
Обжиговая печь	4.47	3.46	3.16	3
Глазирования	4.47	3.46	2.82	3
Линии глазирования	3.16	3.46	3.16	3
Окончательная обработка и упаковка	3.87	3.46	3.16	3