

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Родионов В. А.

Санкт-Петербург – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИРАНА.....	9
1.1 Общая характеристика керамической промышленности Ирана.....	9
1.2 Эффективность мер безопасности в керамической промышленности.....	22
1.3 Анализ методов оценки профессиональных рисков в керамической промышленности Ирана	28
1.4 Выводы по первой главе.....	43
ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	45
2.1 Методы оценки профессионального риска, основанные на одном факторе ..	45
2.2 Разработка комплексных показателей оценки профессиональных рисков	58
2.3 Выводы по второй главе.....	60
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКА В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	62
3.1 Анализ уровней воздействия вредных производственных факторов в рабочих группах	62
3.2 Реализация методов оценки профессиональных рисков, соответствующих условиям труда работников керамической промышленности	79
3.3 Обоснование применения комплексной оценки профессиональных рисков (Comprehensive Risk Assessment, CRA) применительно к условиям керамической промышленности Ирана	90
3.4 Выводы по третьей главе.....	97
ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	100
4.1 Улучшение условий труда работников с использованием административных и инженерно-технических мер.....	101

4.2 Влияние целевых мероприятий на уровни профессионального риска.....	116
4.3 Выводы по четвертой главе.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	121
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт о внедрении результатов диссертации	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельства на программы для ЭВМ	139

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

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 производственных 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 (Е). 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, способного учитывать синергетические эффекты различных факторов, приобретает особую значимость для системы управления охраной труда и 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

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 о внедрении от 01.04.2026, Приложение А).

5. Результаты диссертационной работы подтверждены свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ (Приложение Б): № 2025687512 «Программа для расчета факторов риска производственного травматизма на предприятиях керамической промышленности Ирана» от 10.10.2025 г.; № 2025689450 «Программа для расчета снижения уровня шума на предприятиях керамической промышленности Ирана» от 28.10.2025 г.; № 2025689544 «Программа для расчета искусственного освещения рабочих мест и производственных площадей на предприятиях керамической промышленности Ирана» от 29.10.2025 г.; № 2025693729 «Программа для определения пылевой нагрузки на работников предприятий керамической промышленности Ирана» от 01.12.2025 г.

Методы исследований. 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 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 двуоксида 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 результатов работы на 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 5 международных. За последние 3 года принято участие в 5 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 5 международных: 1. XX Международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам (апрель 2025 года, г. Йошкар-Ола); 2. Международная научно-практическая конференция «Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: анализ задач и поиск решений» (август 2025 года, г. Екатеринбург); 3. Международная научно-практическая конференция «Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности» (август 2025 года, г. Уфа); 4. Международная научно-практическая конференция

«Интеллектуальный капитал общества как драйвер инновационного развития науки» (август 2025 года, г. Калуга); 5. 17 Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» – 2 доклада (октябрь 2025 года, 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 (пункты списка литературы № 28-32, 45-47, 118, 124-130), 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 (Приложение Б, пункты списка литературы № 35-38).

Структура и объем 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.

ГЛАВА 1 ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИРАНА

1.1 Общая характеристика керамической промышленности Ирана

Иранская керамическая промышленность занимает ведущее положение среди несырьевых отраслей экономики страны [103,109]. Богатые месторождения каолина, глины, кварца и полевого шпата создают прочную сырьевую базу для производства строительной и технической керамики [54].

На современном этапе отрасль насчитывает около 114 предприятий (48,40%), сконцентрированных преимущественно в провинции Йезд, где расположены крупнейшие месторождения сырья и развита производственная инфраструктура [102,103,139]. Значительные производственные мощности также размещены в промышленных кластерах Казвина, Кашана и Мазендерана (рисунок 1.1), что обеспечивает широкое покрытие внутреннего рынка и возможность экспорта продукции.

Иранская керамическая промышленность характеризуется значительным разнообразием продукции, предназначенной для различных отраслей экономики и бытового потребления [110]. Основу производства составляют строительные материалы, включая керамические плитки, облицовочные панели, кирпичи и блоки из обожжённой глины, а также трубы и сантехнические изделия. Эти продукты широко применяются в жилищном и промышленном строительстве, обеспечивая долговечность, устойчивость к внешним воздействиям и эстетическую привлекательность зданий.

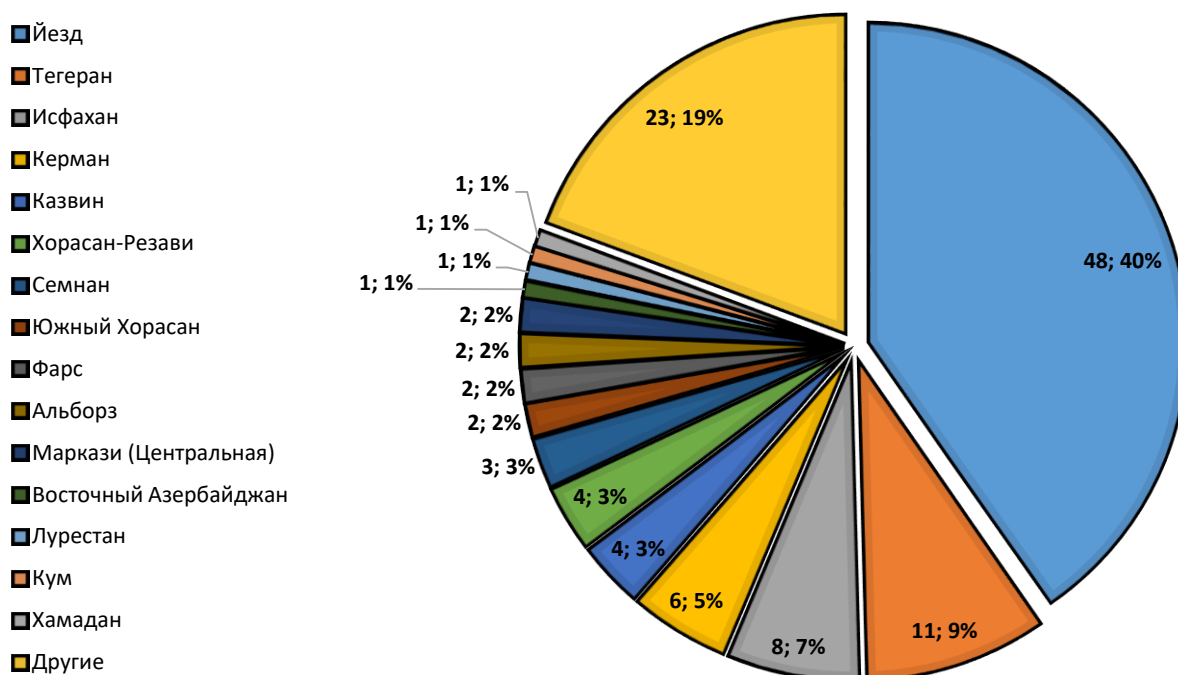


Рисунок 1.1 – Распределение керамических производств по провинциям Ирана (составлено автором на основании [91])

Анализ динамики производства и потребления керамики в Иране показывает следующие тенденции: Пиковые показатели были достигнуты в 2012-2013 гг., после чего в 2014-2017 гг. произошел спад, обусловленный сокращением строительной активности и инвестиций [12]. С 2018 года наблюдается восстановление отрасли с постепенным ростом производства и потребления, достигшим максимума в 2020 году. Наибольший баланс между предложением и спросом зафиксирован в 2011 году, тогда как в 2016 году отмечен максимальный дисбаланс, что отражает цикличность развития рынка (рисунок 1.2) [22,91].

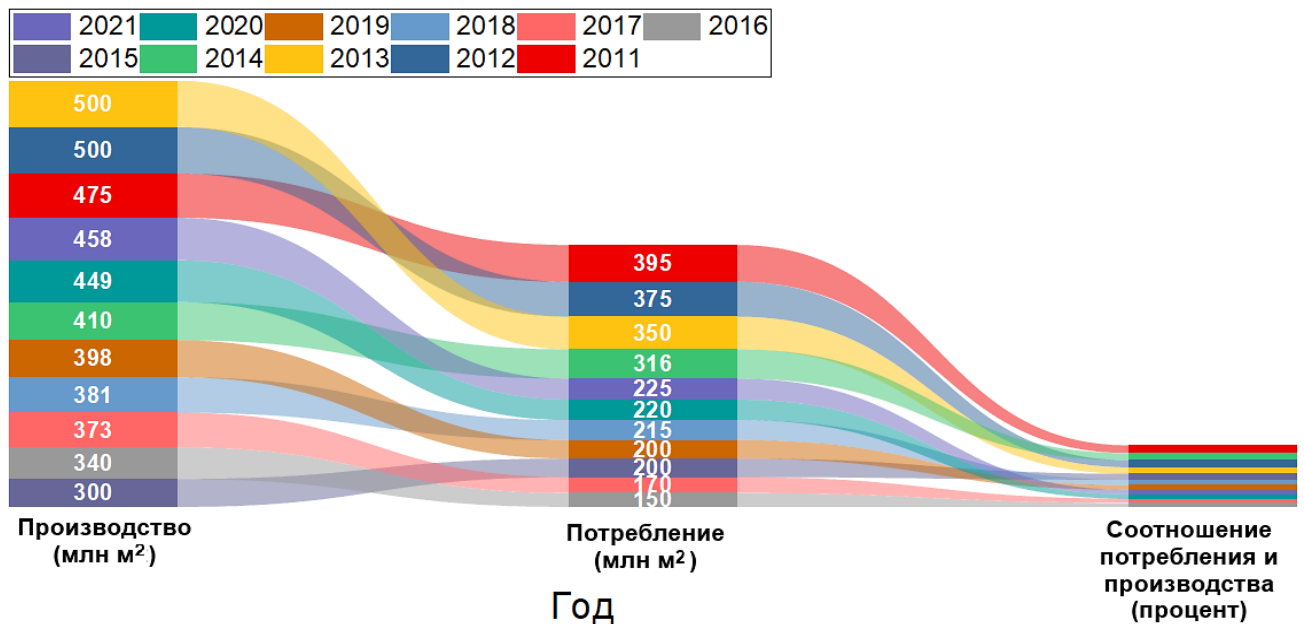


Рисунок 1.2 – Диаграмма производства, потребления и соотношения потребления к производству керамики (составлено автором на основании [12])

Для выполнения настоящей диссертационной работы было проведено исследование на одном из предприятий керамической промышленности, расположенном в провинции Йезд (рисунок 1.3). Природно-климатические условия провинции Йезд характеризуются сухим и полусухим климатом, низким уровнем осадков, высокой солнечной радиацией и значительными суточными колебаниями температуры, что существенно влияет на микроклимат труда работников керамической промышленности.

Численность персонала предприятия составляет около 936 человек, из которых около 200 человек — инженерно-технические работники (ИТР), а около 736 человек — рабочие основных и вспомогательных производств. Данное предприятие является крупнейшим в группе ведущих керамических производств региона и единственным среди них предприятием полного технологического цикла — от подготовки сырья до выпуска готовой продукции. Оно характеризуется наиболее протяжённой технологической цепочкой, наличием крупных производственных линий, максимальной численностью персонала и значительным количеством рабочих мест.



Рисунок 1.3 – Географическое расположение исследуемого предприятия керамической промышленности в Иране (составлено автором)

Годовой объём выпуска предприятия составляет около 3 млн м² керамической продукции. При обеспечении данного уровня производственной мощности предприятие функционирует, как правило, в двух или трёхсменном режиме. В настоящее время на предприятии продолжает работу оборудование со средним сроком эксплуатации более 20 лет. Несвоевременное техническое обслуживание и замена оборудования дополнительно способствуют повышению уровней вредных производственных факторов, что проявляется в

увеличении концентрации АПФД (SiO_2), росте уровней производственного шума и ухудшении микроклиматических условий (ПМ) для работников.

Технологический процесс предприятия реализуется с использованием типового для керамической отрасли комплекса оборудования, включающего шаровые мельницы, печи, прессы, сушилки, распылительные установки, щёковые и конусные дробилки, а также линии для резки, полировки, калибровки и упаковки готовой продукции. Планировочные решения производственных цехов и размещение оборудования соответствуют общепринятым нормам промышленного проектирования, что обеспечивает сопоставимость условий труда между предприятиями керамической промышленности региона. Указанное обстоятельство позволяет рассматривать результаты проведенного исследования как обобщаемые на более широкий круг аналогичных производств.

Технология производства керамики

Основной продукцией исследуемого предприятия керамической промышленности являются напольные и настенные керамические изделия, широко используемые в строительстве и при отделке жилых, общественных и промышленных зданий. Производство данной продукции осуществляется по типовой и унифицированной технологической схеме, характерной для всех предприятий керамической промышленности провинции Йезд, что обусловлено применением стандартизированного оборудования и аналогичных режимов технологического процесса. В целом технологический процесс производства керамики отличается сложной многостадийной структурой и включает последовательные этапы подготовки сырья, формования изделий, спекания (обжига) и финишной обработки готовой продукции [3,4,6,40]. Краткое описание процесса производства керамики выглядит следующим образом (рисунок 1.4):

Закупки и поступления сырья

Первым и определяющим этапом технологического процесса производства керамики является закупка высококачественного сырья, соответствующего установленным требованиям по химическому составу и технологическим характеристикам. Химический состав керамического сырья характеризуется преобладанием диоксида кремния (SiO_2 — 73,57 %) и оксида алюминия (Al_2O_3 — 15,30 %), что формирует основу алюмосиликатных материалов, таких как каолин и полевошпат [3,21,88,118]. Оксидные добавки, включая K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , CaO и другие, присутствуют в сырье в незначительных концентрациях (0,01–3,61 %) и обеспечивают необходимые физико-механические и технологические свойства керамической массы [4,40]. Сырьё с такими характеристиками, добытое из ближайшего месторождения без предварительной обработки и содержащее пустую породу и примеси, выгружается в склад-депо, расположенное рядом с дробильным отделением.

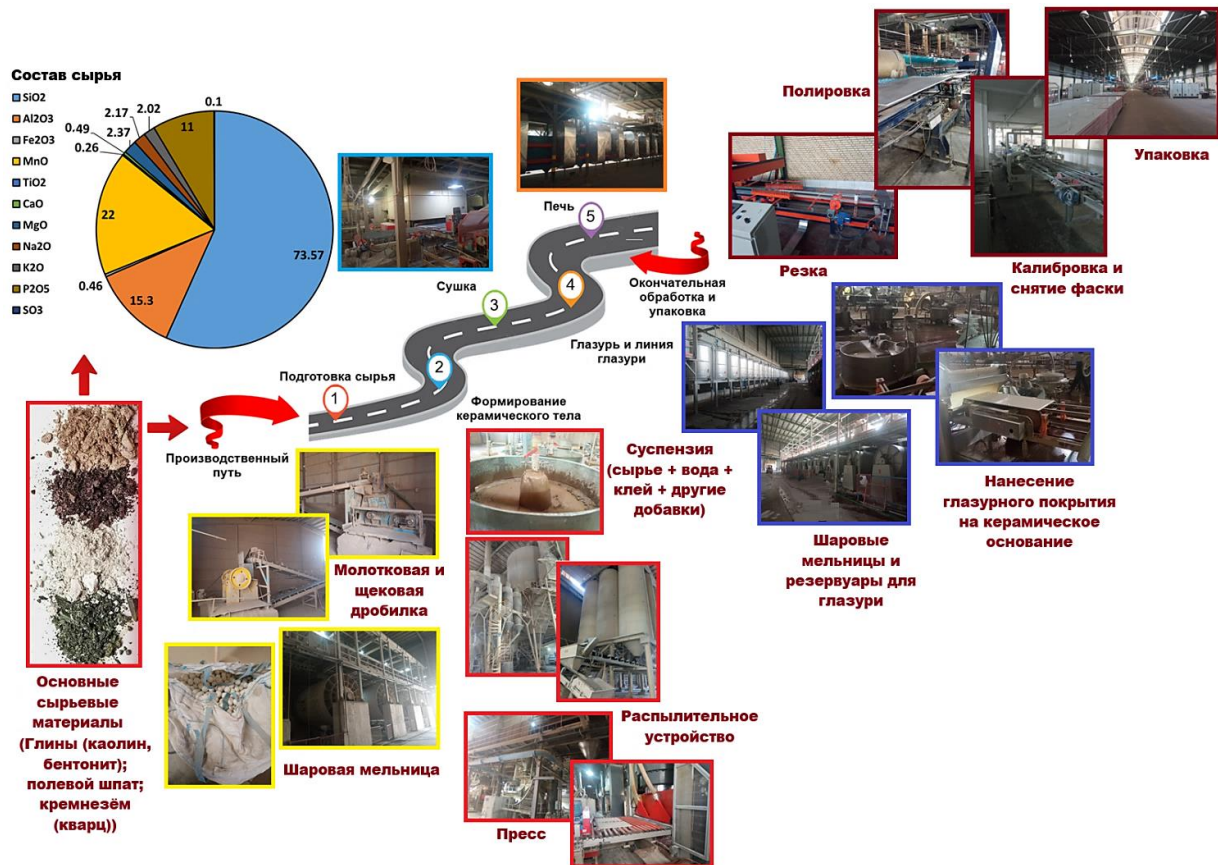


Рисунок 1.4 – Схема полного технологического цикла от добычи сырья до конечной продукции (составлено автором)

Участок подготовки сырья

После поступления сырья на предприятие его подвергают предварительной механической обработке, основной задачей которой является уменьшение размера частиц и получение более однородной массы. На этом этапе исходный материал сначала дробят с помощью щековых дробилок, которые позволяют перерабатывать сырьё с размером кусков 40–350 мм до фракций 0,5–6 мм. Применение щековых дробилок в сочетании с конусными обеспечивает необходимую степень измельчения и однородность сырьевой смеси, требуемые для дальнейших технологических операций [130].

Важным этапом производства является мокрый помол в шаровых мельницах, при котором одновременно происходят измельчение и перемешивание компонентов в водной среде. В результате этого процесса получается однородная суспензия с необходимыми свойствами. Для достижения требуемых технологических характеристик в шликер добавляют органические связующие (до 5%), пластификаторы, поверхностно-активные вещества, дефлокулянты и антивспенивающие добавки. Качество подготовленной суспензии напрямую влияет на стабильность материала и равномерность его свойств на всех последующих этапах производства [21].

Участок формирования керамического тела

Полученная суспензия далее подвергается распылительной сушке, в результате которой формируется гранулированный порошок, характеризующийся высокой однородностью и хорошей сыпучестью, что обеспечивает его пригодность для последующего прессования.

Для процесса экструзии используется пластичная керамическая масса, содержащая связующие и пластификаторы, обеспечивающие необходимую формуемость материала [126,129]. Качество керамической массы в значительной степени определяет плотность так называемой «зелёной» заготовки, а также величину её усадки в процессе последующего спекания. Этап уплотнения материала способствует формированию прочной заготовки, устойчивой к механическим воздействиям и пригодной для дальнейшей механической обработки и транспортировки [127].

Участок сушки

После формования заготовки подвергаются сушке для удаления влаги и подготовки к обжигу. Наиболее распространен конвективный метод с использованием теплого воздуха, обеспечивающий равномерное испарение влаги и минимизацию деформаций. В промышленных условиях процесс осуществляется в туннельных сушилках с рекуперацией тепла из зоны охлаждения, что значительно повышает энергоэффективность производства [118].

Участок глазури и линия глазурования

После сушки изделия покрывают глазурью — жидкой суспензией, образующей при обжиге стекловидный слой. Глазурь выполняет декоративную и защитную функции, повышая износостойкость, химическую стойкость и водонепроницаемость продукции [3].

Участок обжига

Обжиг завершающий этап производства, в ходе которого происходят структурные и фазовые превращения материала. Контролируемый температурный режим обеспечивает уплотнение массы, формирование стекловидной фазы и достижение требуемых прочностных характеристик. Правильный выбор параметров обжига минимизирует внутренние напряжения и дефекты, определяя качество готовой продукции [2,10].

Участок окончательной обработки

После обжига керамические изделия подвергаются механической финишной обработке, направленной на повышение точности размеров, улучшение качества поверхности и эксплуатационных характеристик продукции. Основные методы окончательной обработки включают шлифование — абразивную обработку поверхности, обеспечивающую достижение требуемой точности и снижение шероховатости; резку — процесс придания изделиям заданной геометрической формы или их разделения с использованием режущего инструмента; хонингование — высокоточную абразивную обработку, направленную на улучшение геометрической точности и качества поверхности отверстий; притирание — тонкую

доводочную обработку с применением абразивных суспензий для повышения точности сопрягаемых поверхностей; а также полирование — финишную операцию, обеспечивающую получение высокогладкой поверхности и повышение эксплуатационных свойств изделий [129, 130]. Для обработки плотной и твёрдой керамики применяют алмазный инструмент при пониженных скоростях резания, что позволяет предотвратить образование микротрещин. Данная стадия имеет особое значение для изделий, эксплуатируемых в условиях высоких механических, термических и химических нагрузок [118]. После завершения финишной обработки готовые изделия сортируются, упаковываются в картонную тару и направляются на склад готовой продукции с последующей реализацией на рынке.

Условия труда работников керамического производства

На каждом производственном участке присутствуют характерные только для него профессиональные риски и вредные факторы, обусловленные производственным процессом, оказывающие негативное влияние на здоровье [128]. В связи с этим оценка условий труда работников с точки зрения воздействия этих факторов приобретает особую важность.

Формирование рабочих групп для оценки условий труда работников керамической промышленности: В нормативных документах Ирана в качестве первого шага для проведения специальной оценки условий труда работников рекомендуется формирование рабочих групп. Сначала необходимо дать четкие определения понятий «участок», «рабочее место» и «рабочая группа» в контексте керамической промышленности, чтобы материалы можно было легко понять. Участок — это структурное подразделение производственной линии или цеха, которое включает несколько рабочих мест и, как правило, несколько работников или команд, выполняющих определённый этап производственного процесса. Рабочее место — это наименьшая организационная единица производства; то есть конкретное место, где один оператор или работник с определённым оборудованием выполняет конкретную операцию. Рабочая группа — это совокупность сотрудников, которые совместно выполняют определённую задачу или проект; этот термин относится скорее к человеческому/организационному аспекту, чем к пространственному. Рисунок 1.5 иллюстрирует структуру организационного уровня этих трёх понятий в керамической промышленности.

Международные организации, такие как Национальный институт охраны труда (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH), осуществляющие контрольную деятельность в области охраны труда и безопасности, используют рабочие группы для сопоставления данных о воздействии вредных производственных факторов (ВПФ) на работников [106].

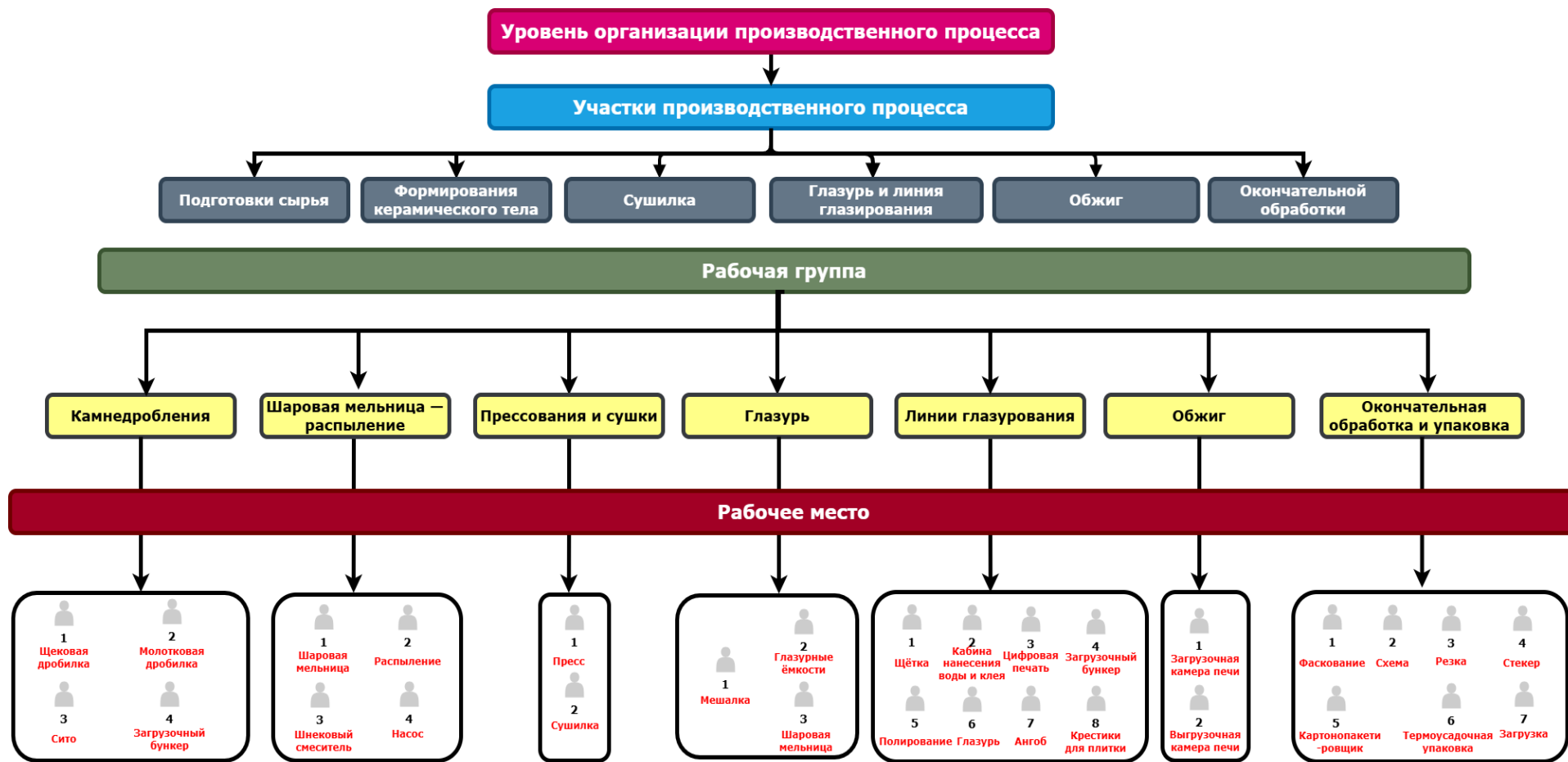


Рисунок 1.5 – Структура организации производства керамических изделий: участки, рабочие места и рабочие группы (составлено автором)

Методика формирования рабочих групп имеет ряд преимуществ по сравнению с другими подходами, применяемыми в области профессиональной эпидемиологии. Во-первых, она обеспечивает однородность воздействия (экспозиции), позволяя объединять работников с сопоставимыми уровнями и характером воздействия ВПФ. Это снижает вероятность ошибочной классификации уровней воздействия и повышает точность оценки профессиональных рисков, что особенно важно при исследовании влияния конкретных ВПФ на здоровье работников [79]. Во-вторых, использование метода рабочих групп способствует повышению статистической достоверности получаемых результатов. Формирование более однородных по воздействию групп уменьшает разброс показателей внутри выборки, что облегчает выявление зависимостей между уровнем воздействия и проявлением неблагоприятных последствий [80].

На основании изучения технологий производства и производственных участков, мы выделили 7 рабочих групп, каждая из которых отличается характером выполняемых технологических операций и уровнем воздействия ВПФ. В таблице 1.1 представлены характеристики рабочих групп, идентифицированных в керамической промышленности.

Таблица 1.1 – Рабочие группы и их функции в керамической промышленности (составлено автором)

Рабочая группа	Количество работников	Количество смен	Рабочее время (ч)	Основные обязанности
Дробилка	40	1	8	Подавать глинисто-каменистое сырьё в силосы и дробильное оборудование, обслуживать и настраивать камнедробильную установку в соответствии с производственными параметрами, контролировать работу оборудования и устранять мелкие неполадки.
Шаровая мельница с распылением	96	3	8	Контролировать и регулировать свойства шликера (вязкость, плотность, дисперсность), наблюдать за параметрами распылительной сушки (температура, влажность, равномерность и размер гранул) и обеспечивать стабильность технологического процесса.
Пресс-сушилка	112	3	8	Готовить и подавать керамический порошок в прессы, настраивать и контролировать параметры прессования, проверять заготовки на дефекты, обслуживать пресс-формы, управлять режимами сушки, загружать и выгружать сушильные камеры, обслуживать оборудование и контролировать качество высушенных изделий.

Продолжение таблицы 1.1

Рабочая группа	Количество работников	Количество смен	Рабочее время (ч)	Основные обязанности
Обжиг печи	128	3	8	Загружать и выгружать керамические изделия в обжиговые печи, контролировать параметры обжига (температура, скорость нагрева и охлаждения, продолжительность), наблюдать за работой печного оборудования, фиксировать отклонения и участвовать в его техническом обслуживании и мелком ремонте.
Глазурования	48	2	8	Готовить и точно дозировать глазурные композиции, корректировать их свойства, регулировать параметры нанесения (толщина и равномерность покрытия) и контролировать качество поверхности изделий после глазурования, обеспечивая стабильность внешнего вида и технологических характеристик покрытия.
Линии глазурования	184	3	8	Готовить изделия к автоматическому глазурованию, обеспечивать равномерное нанесение глазури с помощью автоматических систем, контролировать качество покрытия и исправлять дефекты, обслуживать глазуровочное оборудование и вести производственную документацию.
Окончательная обработка и упаковка	328	3	8	Полировать и проводить визуальный осмотр керамических изделий, резать и контролировать геометрию, выявлять брак, сортировать продукцию, а также готовить и упаковывать готовые изделия для безопасной транспортировки.

Вредные факторы производственной среды (ВПФ)

В ходе исследования было проведено комплексное изучение деятельности предприятия и его производственных участков. На основе анализа технологического процесса и структуры

производства были определены основные вредные производственные факторы, оказывающие влияние на работников; их классификация представлена на рисунке 1.6.

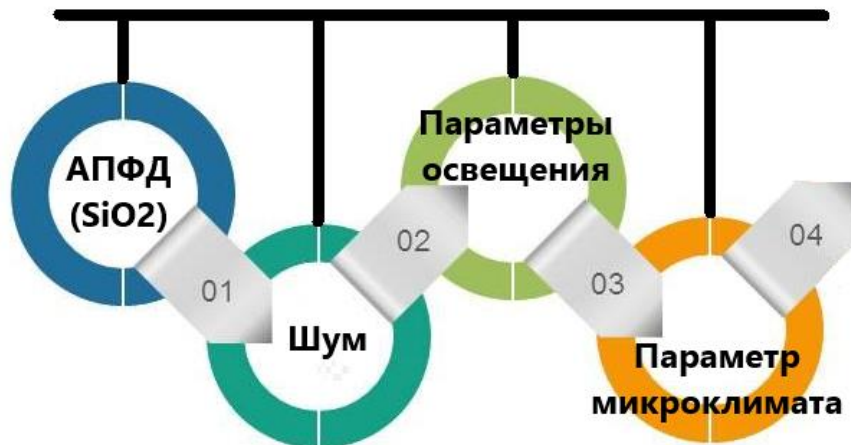


Рисунок 1.6 – Преобладающие вредные факторы в керамической промышленности
(составлено автором)

Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД) в керамической промышленности представляют собой одно из наиболее распространённых и вредных для здоровья производственных загрязнений, возникающих на различных стадиях технологического процесса — от подготовки и переработки сырья (глины, песка и других минеральных компонентов) до обработки и упаковки готовой продукции [13,28]. Таким образом, АПФД, образующиеся в керамической промышленности, представляют собой сложный по составу и физико-химическим свойствам аэрозоль, требующие комплексного подхода к их исследованию и контролю. На основе всестороннего обзора 156 статей, индексированных в базе данных Scopus и относящихся к керамической промышленности, были выделены ключевые слова, по которым проведено наибольшее количество исследований в различных научных направлениях данной области.

Одним из ключевых слов, по которому проведено наибольшее количество исследований, является размер частиц [27,44]. В соответствии с нормативными санитарно-гигиеническими документами Ирана и других международных документов, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия в производственных средах классифицируются по размеру частиц. В целом АПФД подразделяются на вдыхаемую, респираторную и общую фракцию [44]. Вдыхаемая фракция проникает в верхние отделы дыхательных путей через нос и рот, тогда как респираторная фракция состоит из частиц малого аэродинамического диаметра, способных достигать глубоких отделов лёгких и альвеол, что делает её наиболее опасной для здоровья работников [15,18,76].

К другим ключевым словам, связанным с керамической промышленностью, относятся диоксид кремния, силикоз, рак лёгких, пневмокониоз и спирометрия, по которым также проведено значительное количество исследований [34,44]. Эпидемиологические исследования работников керамической промышленности выявили прямую связь между кумулятивным воздействием кристаллического кремнезёма и развитием силикоза, снижением функции внешнего дыхания (спирометрия), а также повышенным риском рака лёгких [34]. Кроме того, такими модификаторами риска признаны длительность воздействия, концентрация частиц в воздухе рабочей зоны (временные и пространственные факторы), а также присутствие частиц, содержащих железо или кальций, которые могут усиливать фиброгенный эффект кремнезёма [94].

Обзор литературы показывает, что большинство когортных исследований, индексированных в Scopus, подчёркивают необходимость проведения спирометрии в качестве основного инструмента скрининга здоровья работников керамической промышленности [44,97]. В этих исследованиях объём форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁) и отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ признаны наиболее чувствительными параметрами для раннего выявления нарушений, вызванных воздействием фиброгенных аэрозолей [97]. В частности, проспективное когортное исследование показало, что ежегодная производственная спирометрия позволяет выявить прогрессирующее снижение ОФВ₁ в среднем на 5 лет раньше, чем появление клинических симптомов силикоза [99]. Кроме того, метаанализ, опубликованный в 2023 году, продемонстрировал, что распространённость смешанного паттерна среди работников керамической промышленности в 2,5 раза выше, чем в общей популяции, и каждый третий работник с высоким уровнем воздействия имеет ускоренное снижение ОФВ₁ [97].

Вторым по значимости вредным производственным фактором в керамической промышленности является шум, оказывающий отрицательное влияние на здоровье работников [46,137]. По данным ряда исследований, длительное воздействие производственного шума может приводить к ухудшению самочувствия работников и снижению их работоспособности [1,17]. Среди профессиональных заболеваний шумовая нейросенсорная тугоухость занимает одно из ведущих мест; за последние годы её распространённость увеличилась в 2–2,5 раза [87,48]. Шум оказывает системное влияние на организм, а появление шума в ушах может служить ранним признаком нейросенсорной тугоухости (НСТ), что подчёркивает необходимость своевременной диагностики и профилактики [39].

В зависимости от уровня звукового давления и выраженности воздействия на организм человека выделяют несколько диапазонов интенсивности [42,55]. При уровне до 35 дБ шум оказывает преимущественно раздражающее действие, мешая концентрации внимания, однако

не считается вредным для здоровья. Диапазон от 35 до 70 дБ сопровождается функциональными нарушениями со стороны нервной системы, чувством утомления и снижением работоспособности. При воздействии 70–85 дБ наблюдаются ухудшение слуха, головные боли и снижение эффективности труда, а уровни от 85 до 130 дБ приводят к стойким нарушениям слухового восприятия, развитию сердечно-сосудистых и нервных расстройств. Воздействие шума в пределах 130–150 дБ может вызывать резонанс внутренних органов и их повреждение, а при уровне свыше 150 дБ — паралич жизненно важных функций, тошноту и психические расстройства [48].

Динамика шумового воздействия в производственной среде подвержена значительным колебаниям в зависимости от времени суток, сезона, температуры воздуха и технического состояния оборудования [46,136]. Например, в ночные смены при снижении контроля или в тёплое время года при открывании технологических проёмов уровень шума может существенно возрасти [39]. На уровень акустического воздействия также влияют износ и модернизация оборудования, а также реализация планировочных решений, таких как установка звукоизолирующих кабин для операторов [17].

Третий вредный фактор, влияющий на здоровье работников керамической промышленности, — это неблагоприятные параметры световой среды [125]. В контексте обеспечения безопасности труда зрительные способности и зрительный комфорт персонала являются критически важными факторами [58,78]. Уровень и качество световой среды должны обеспечивать условия, соответствующие требованиям выполняемой зрительной работы [5]. В производственной среде пренебрежение этими требованиями может способствовать возникновению серьёзных травм, связанных с неадекватной оценкой степени риска при эксплуатации технологического оборудования, что является прямым следствием несоответствия параметров световой среды установленным нормативам [33]. Для керамической промышленности световая среда представляет собой один из значимых факторов производственной обстановки. Улучшение условий освещения может увеличить производительность труда на 3–40 % в зависимости от характера производства [43]. Освещение воздействует на работников двумя путями. Визуальное воздействие создает комфортные условия работы и обеспечивает четкое восприятие рабочей среды. Невизуальное воздействие влияет на биологические ритмы организма, способствуя поддержанию работоспособности, бодрствования и психоэмоционального благополучия [33,11].

Существенной проблемой при проектировании системы освещения является тенденция к игнорированию требований к качеству световой среды при одновременном акцентировании внимания исключительно на её количественных характеристиках, таких как уровень освещённости [47]. Между тем даже соблюдение нормируемых значений освещённости на

рабочем месте не гарантирует формирования безопасных и эргономически обоснованных условий труда. Это связано с характеристиками распределения света: ослеплённость, контрастность и цветопередача, так как они оказывают значимое влияние на зрительное восприятие и безопасность работников [31].

Параметры микроклимата (ПМ) являются одним из ключевых факторов, определяющих формирование микроклимата в производственных помещениях керамической промышленности [114,141]. От их значений в значительной степени зависят условия труда, самочувствие работников и эффективность производственного процесса [103]. Параметры микроклимата в керамической промышленности снижают производительность более чем на 30 % и негативно влияют на здоровье работников, особенно при обслуживании печей [114]. Повышенные температура тела, частота сердечных сокращений и потоотделение, а также признаки обезвоживания и усталости указывают на выраженную тепловую нагрузку [141]. Её интенсивность колеблется от умеренной до экстремальной и усиливается сезонными факторами [103]. Тяжелая термическая травма инициирует каскад патологических процессов, ключевыми звеньями которого являются массивное повреждение тканей и последующее увеличение генерации свободных радикалов [83,108]. Данное состояние усугубляется развитием гипоксии и истощением ресурсов антиоксидантной системы, что в совокупности приводит к запуску системного воспалительного ответа [56]. Дальнейшее прогрессирование патологии характеризуется эндотелиальной дисфункцией, сопровождающейся деградацией гликокаликса, выраженными нарушениями микроциркуляции и в конечном итоге — полиорганной недостаточностью [56]. Развитие данного дисбаланса является одним из критических факторов, определяющих высокий уровень летальности при термических поражениях.

Оптимальные и допустимые температурные и влажностные режимы, скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом явного избытка тепла устанавливаются нормативными документами [68]. При допустимых параметрах микроклимата нарушения состояния здоровья человека не возникает. При длительном и систематическом воздействии на человека изменения функционального и теплового состояния организма с реакцией терморегуляции не выходят за пределы физиологических возможностей организма [13]. Поэтому обеспечение контроля параметров микроклимата и предупреждение перегревания работников являются важнейшими элементами системы охраны труда.

1.2 Эффективность мер безопасности в керамической промышленности

Эффективность мер безопасности в керамической промышленности заключается в том, что программы охраны труда значительно повышают производительность и качество производства. В условиях воздействия пыли, шума и высоких температур особое значение

имеют системы управления безопасностью [71]. Предприятия внедряют интегрированные системы менеджмента (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001), направленные на выявление рисков и профилактику [89,90,92]. Исследования показывают, что такие системы снижают уровень профессиональных заболеваний и повышают эффективность, что подтверждается и в смежных отраслях, например, цементной промышленности [95]. Показатели безопасности в керамической промышленности представляют собой совокупность количественных и качественных характеристик, отражающих состояние охраны труда, промышленной безопасности и здоровья работников с учётом специфики технологических процессов отрасли [45]. На основе проведённых исследований в керамической промышленности широко применяются четыре основных показателя оценки уровня производственной безопасности: коэффициент частоты несчастных случаев (AFR – Accident Frequency Rate), коэффициент тяжести несчастных случаев (ASR – Accident Severity Rate), интегральный коэффициент частоты–тяжести (FSI – Frequency Severity Index) и показатель Safety T-Score (S.T.S) [95,112].

Коэффициент AFR определяется как число инцидентов с потерей трудоспособности (LTI – Lost Time Injury) на 1000000 отработанных часов и рассчитывается по формуле (1) [112]:

$$AFR = \frac{1000000 \cdot N_A}{N_W \cdot 40 \cdot 50}, \quad (1)$$

где N_A – количество зарегистрированных случаев за анализируемый период,

N_W – среднее число работников, находящихся в зоне риска,

40 — стандартное количество рабочих часов в неделю,

50 — условное количество рабочих недель в году (берут 50 вместо 52, учитывая отпуска, праздники и другие нерабочие периоды).

Данный подход позволяет нормировать показатель с учётом численности персонала и объёма рабочего времени.

В рамках оценки профессионального здоровья работников керамической промышленности AFR используют для анализа устойчивых тенденций воздействия производственной среды. При этом учитываются только случаи временной утраты трудоспособности продолжительностью не менее 24 часов. Такой подход позволяет исключить незначительные эпизоды и сосредоточиться на более существенных нарушениях здоровья, которые в долгосрочной перспективе могут быть связаны с развитием профессиональных заболеваний.

Коэффициент ASR в исследованиях керамической промышленности может рассматриваться как косвенный показатель влияния неблагоприятных производственных условий на состояние здоровья работников, включая возникновение и прогрессирование профессиональной патологии. Он отражает не только факт утраты трудоспособности, но и её

длительность, что особенно важно при оценке хронических эффектов воздействия производственной среды. Согласно рекомендациям Международной организации труда (МОТ), ASR рассчитывается по формуле (2) [131]:

$$ASR = \frac{1000 \cdot N_L}{N_W \cdot 40 \cdot 50} \quad (2)$$

где N_L – общее число потерянных рабочих дней за анализируемый период,

N_W – среднее число работников, находящихся в зоне риска,

40 – стандартное количество рабочих часов в неделю,

50 – условное количество рабочих недель в году (берут 50 вместо 52, учитывая отпуска, праздники и другие нерабочие периоды).

В контексте профессионального здоровья работников керамической промышленности данный показатель используется для оценки степени функциональных потерь, связанных с неблагоприятными условиями труда. Более высокие значения ASR могут косвенно указывать на увеличение тяжести последствий для здоровья работников и потенциальное усиление риска формирования профессиональных заболеваний.

В контексте оценки профессионального здоровья работников керамической промышленности показатель FSI отражает совокупное влияние факторов, связанных с частотой и тяжестью неблагоприятных последствий. Его использование позволяет более точно характеризовать общий уровень профессионального риска и потенциальные условия, способствующие развитию профессиональных заболеваний, по сравнению с отдельным анализом AFR и ASR. Расчёт FSI выполняется по формуле (3) [45]:

$$FSI = \sqrt{\frac{(AFR \cdot ASR)}{1000}} \quad (3)$$

1000 – нормирующий коэффициент (масштабирующий множитель). Он вводится для приведения итогового значения FSI к удобному диапазону интерпретации и обеспечения сопоставимости результатов. Интерпретация значений FSI осуществляется согласно установленной шкале, представленной в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Интерпретация показателя FSI и уровень безопасности организации [45]

Норма FSI	Характеристика уровня безопасности
$FSI < 0,1$	Приемлемый уровень безопасности, низкая вероятность формирования неблагоприятных последствий для здоровья работников
$FSI \geq 0,1$	Неприемлемый уровень безопасности, повышенный риск ухудшения состояния здоровья работников

Коэффициент S.T.S представляет собой безразмерный статистический показатель, используемый в исследованиях керамической промышленности для оценки динамики изменений уровня производственного риска и косвенной характеристики условий,

способствующих формированию профессиональных заболеваний. Данный показатель позволяет анализировать тенденции изменения состояния охраны труда на основе сравнения текущих и предыдущих значений коэффициента AFR, что обеспечивает оценку направленности изменений профессионального риска во времени. Расчёт S.T.S выполняется по формуле (4):

$$S.T.S = \frac{AFR_{New} - AFR_{last}}{\sqrt{\left(\frac{AFR_{last}}{\text{total time}}\right) \cdot 200000}}, \quad (4)$$

где AFR_{New} – коэффициент частоты профессиональной заболеваемости в текущем году, AFR_{last} – коэффициент частоты профессиональной заболеваемости в предыдущем году, total time – общее количество отработанных часов за год, 200000 – эталонное значение, соответствующее 100 работникам при стандартной годовой нагрузке.

Интерпретация показателя S.T.S осуществляется согласно таблице 1.3:

Таблица 1.3 – Интерпретация показателя S.T.S [45]

Интерпретация	S.T.S
Уровень безопасности приемлемый	Отрицательное число
Уровень безопасности неприемлемый	Положительное число

Отрицательные значения свидетельствуют об улучшении состояния безопасности, тогда как положительные значения указывают на ухудшение условий труда и потенциальное увеличение профессионального риска.

В керамической промышленности Ирана проводились исследования эффективности мер охраны труда и уровня профессиональной заболеваемости. В период 2020–2024 гг. в начальные годы наблюдений отмечался рост показателей профессиональной заболеваемости, что указывает на недостаточность применяемых профилактических мер (рисунок 1.7). Рост этих показателей свидетельствует как о частоте выявления профессиональных заболеваний, так и об их влиянии на работоспособность.

Однако с 2024 года произошло улучшение ситуации: начал снижаться уровень профессиональной заболеваемости. Это улучшение связано с совершенствованием системы управления охраной труда, обновлением производственных процессов и усилением контроля условий работы. Вместе с тем исследования показывают, что для достижения устойчивого снижения профессиональной заболеваемости необходимо применять комплексный подход. Он должен включать постоянный мониторинг рабочей среды, совершенствование методов оценки профессионального риска и внедрение эффективных профилактических мер.

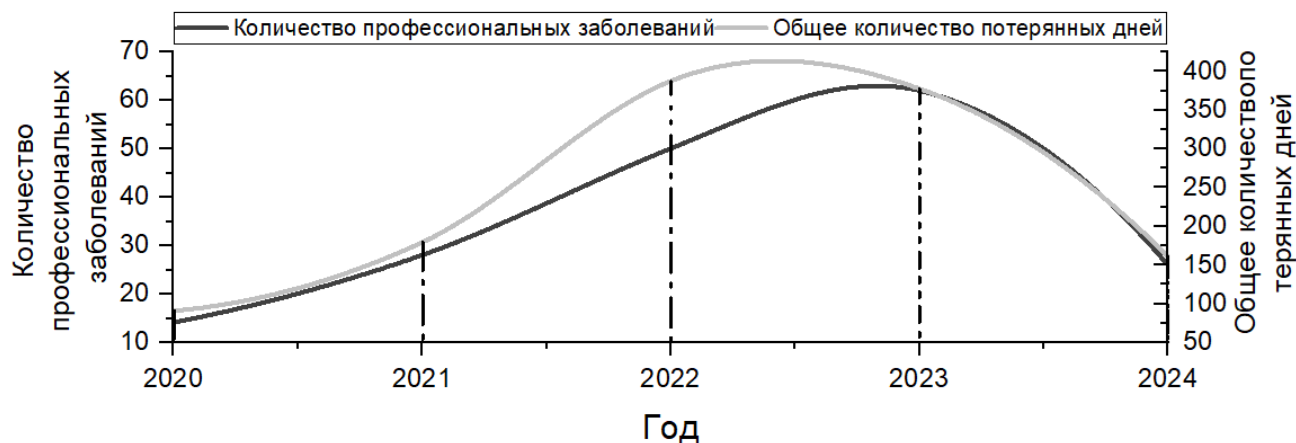


Рисунок 1.7 – Количество случаев профессиональных заболеваний и общее количество потерянных дней в период с 2020 по 2024 год в керамической промышленности (составлено автором)

Анализ литературных данных за 2020–2024 гг. выявил существенную изменчивость значений AFR. В начале рассматриваемого периода показатель имел относительно низкий уровень, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии системы охраны труда. В дальнейшем наблюдалась тенденция к его росту, достигшая наибольшего значения в 2023 году. Увеличение AFR может указывать на ухудшение условий труда и повышение риска возникновения профессиональных заболеваний и производственного травматизма (рисунок 1.8).

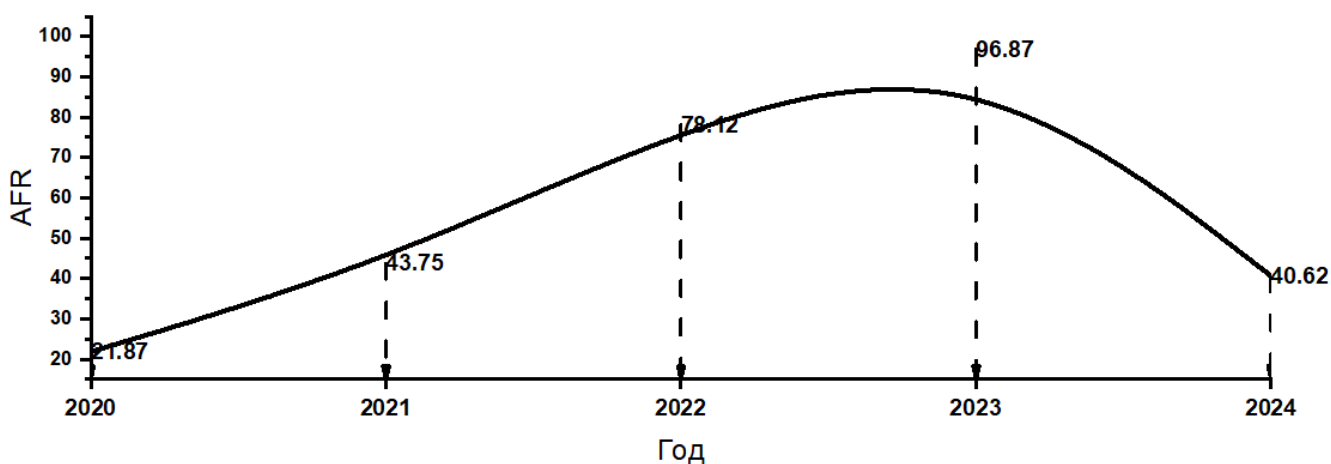


Рисунок 1.8 – Коэффициент AFR в керамической промышленности на 2020-2024 годы (составлено автором)

Анализ литературных данных за период 2020–2024 гг. показывает, что в первые годы наблюдений значения ASR оставались на относительно низком уровне, что может свидетельствовать о менее выраженном влиянии неблагоприятных условий труда на трудоспособность работников. В последующие годы отмечался рост показателя, указывающий на увеличение продолжительности временной утраты трудоспособности и, соответственно, на усиление негативного воздействия производственной среды. В более поздних исследованиях

зафиксировано некоторое снижение ASR, что связывают с внедрением мероприятий по совершенствованию системы охраны труда и профилактике профессиональных рисков. Тем не менее, несмотря на положительную динамику, уровень показателя остаётся выше исходных значений, что свидетельствует о сохранении значимых рисков для здоровья работников (рисунок 1.9).

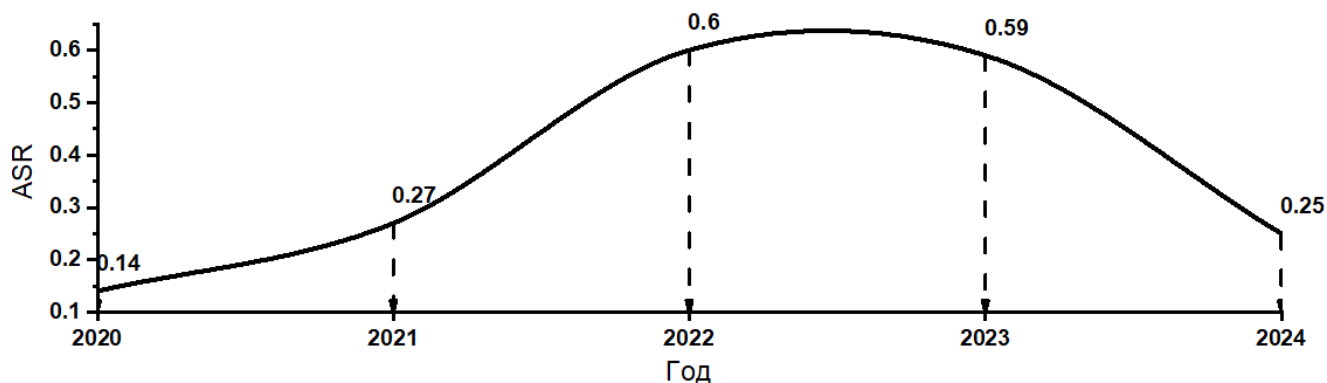


Рисунок 1.9 – Коэффициент ASR случаев в керамической промышленности на 2020–2024 годы (составлено автором)

Анализ исследований за 2020–2024 гг. показал, что в начале периода индекс FSI находился в допустимых пределах, отражая приемлемые условия труда. С 2022 года показатель начал расти и достиг максимума в 2023 году, что указывает на увеличение профессиональных рисков и вероятность развития профессиональной заболеваемости. В последующие годы FSI снизился благодаря внедрению профилактических мер. Однако показатель остается выше допустимого уровня, что подтверждает необходимость дальнейшего улучшения системы управления профессиональными рисками и условий труда (рисунок 1.10).

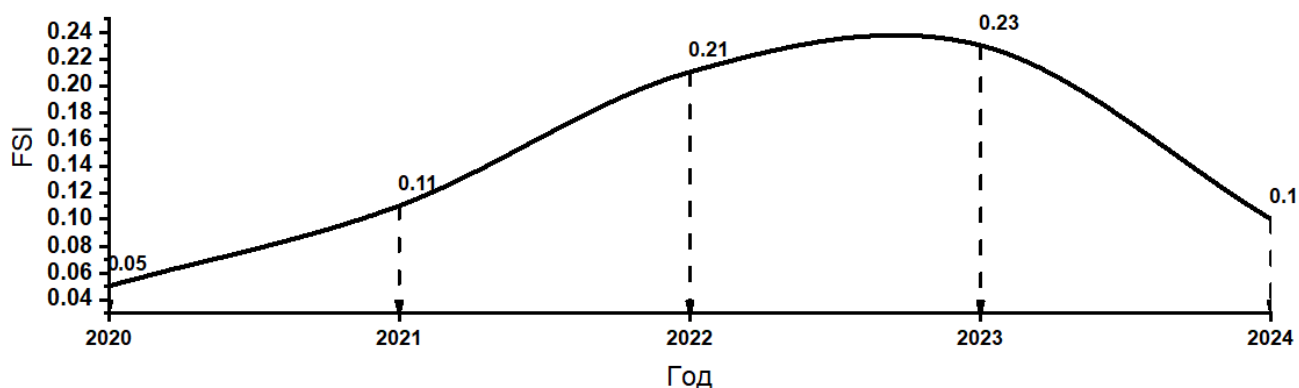


Рисунок 1.10 – Коэффициент тяжести–частоты несчастных случаев в керамической промышленности на 2020–2024 годы (составлено автором)

Анализ литературных данных за 2020–2024 гг. показал, что в отдельные годы значения индекса имели положительный характер, что свидетельствует об ухудшении условий труда и усилении неблагоприятного воздействия производственных факторов. Наиболее высокие значения показателя были отмечены в 2022–2023 гг., что указывает на максимальный уровень профессионального риска. В последующие годы наблюдался переход индекса в отрицательную

область, отражающий снижение неблагоприятного воздействия и некоторое улучшение условий труда. Однако достигнутые изменения всё ещё недостаточны для обеспечения устойчивого снижения профессиональной заболеваемости (рисунок 1.11).

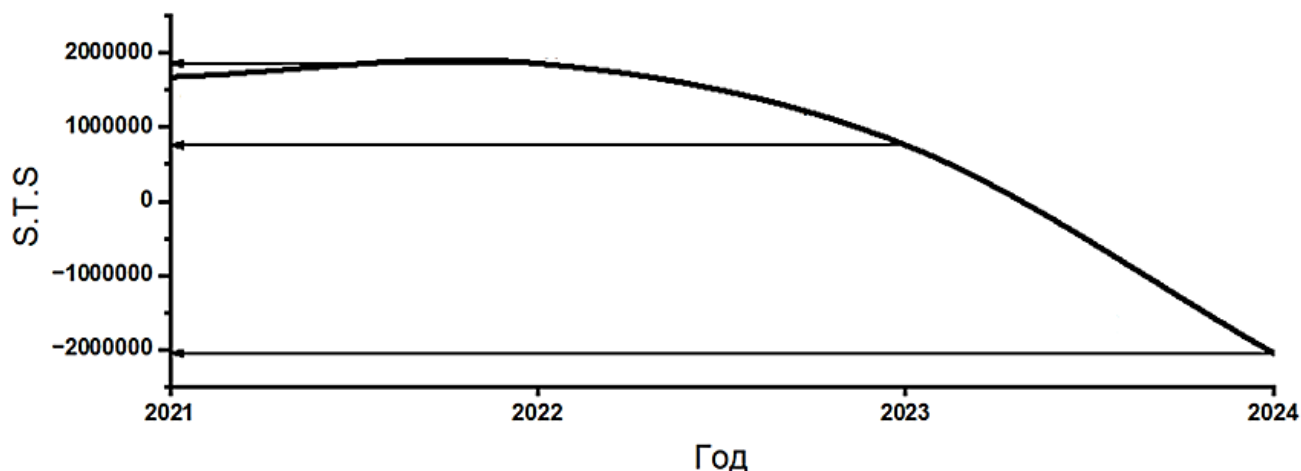


Рисунок 1.11 – Показатель S.T.S в керамической промышленности на 2020-2024 годы
(составлено автором)

1.3 Анализ методов оценки профессиональных рисков в керамической промышленности Ирана

Выбор управленческих решений по охране труда на предприятиях керамической промышленности Ирана является ключевым фактором обеспечения безопасности и здоровья работников, а также повышения эффективности производства [60,96,100,123,140]. В этой системе центральную роль играет оценка профессионального риска, которая служит основой для разработки и внедрения эффективной системы управления охраной труда и промышленной безопасностью [96,61]. В керамической промышленности, как и в других промышленных отраслях, именно на основе оценки риска формируются приоритеты профилактических мер и определяются направления снижения вероятности профессиональных заболеваний.

Оценка профессиональных рисков представляет собой сложный и многоэтапный процесс, требующий не только теоретических знаний, но и практических навыков, поскольку она включает совокупность мероприятий, направленных на выявление, анализ и минимизацию угроз безопасности и здоровью работников [85,105]. Основные принципы и структурные элементы данной концепции представлены на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Система оценки к риск-ориентированного подходам (составлено автором)

Международный опыт свидетельствует о широком применении различных методов оценки профессиональных рисков, включая качественные, полуколичественные и количественные подходы, для прогнозирования потенциально неблагоприятных событий, количественной оценки вероятности их возникновения, а также разработки эффективных стратегий и процедур управления рисками в сфере охраны труда [52,53,79].

В Иране методы оценки риска разрабатываются на основе международных стандартов [96] и национального законодательства. Используются стандарты ISO 31000:2018 (управление рисками) [91] и ISO 45001:2018 (системы управления охраной труда) [92], а также национальные инструкции Министерства здравоохранения и Министерства труда и иранские стандарты безопасности труда (INSO).

Анализ международных баз данных (Scopus, Web of Science и др.) показал эволюцию методов оценки профессиональных рисков: переход от качественных подходов к количественным и гибридным моделям [96,77]. За период 1984–2024 гг. опубликовано 858 научных работ, что отражает устойчивый рост исследований в этой области (рисунок 1.13).

На начальном этапе (1984–2000 гг.) опубликовано 54 статьи (6,1%), указывая на ограниченное развитие управления профессиональными рисками. В 2000–2010 гг. число работ увеличилось до 248 (28,9%), что свидетельствует об утверждении риск-ориентированного подхода. С 2010 по 2024 гг. опубликовано 566 статей (65%), с максимумом публикаций в 2024 году. В этот период активно внедрялись байесовские модели оценки риска.

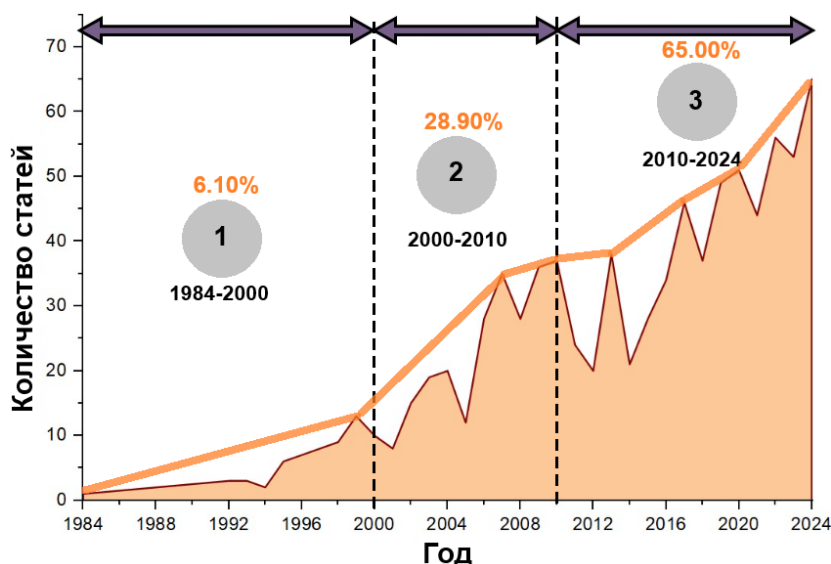


Рисунок 1.13 – Количество статей по тематике риск-ориентированного подхода, опубликованных с 1984 по 2024 год (составлено автором)

В последние годы был разработан широкий спектр современных методов оценки риска, различающихся по своим преимуществам, ограничениям и областям применения. Анализ научной литературы показывает, что подходы к управлению рисками в керамической промышленности прошли путь от решения отдельных вопросов производственной безопасности, прежде всего связанных с воздействием кремнезёмной пыли, к формированию комплексных систем управления рисками. Современные методы направлены не только на снижение профессиональных рисков, но и на повышение эффективности производственных процессов. К числу наиболее распространённых инструментов относятся анализ безопасности работы (Job Safety Analysis, JSA), анализ видов и последствий отказов (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) и метод оценки рисков Уильяма Файна.

Метод 1: JSA

Анализ безопасности работы (JSA) представляет собой процедуру оценки трудовых операций, направленную на выявление опасностей и разработку мер контроля, позволяющих повысить безопасность выполнения работ. В научной и нормативной литературе этот метод также встречается под другими названиями, отражающими сходство подходов и целей оценки риска [74]. В частности, он обозначается как Job Hazard Analysis (ЖА), Safe Job Analysis (SJA) и Task Hazard Analysis (ТНА); в ряде источников эти термины используются как синонимичные или близкие по смыслу при анализе опасностей, связанных с выполнением отдельных трудовых операций и производственных задач [75]. Метод является полезным инструментом для выявления опасностей и разработки мероприятий по их контролю, однако он имеет ряд ограничений. Среди них — сильная зависимость от опыта команды, неполное охватывание сложных или изменяющихся рисков, акцент на конкретные физические, особенно механические, опасности при игнорировании других факторов, а также необходимость

постоянного обновления, что снижает его эффективность в условиях быстро меняющихся рабочих процессов. Хотя JSA сосредоточен на идентификации этапов работы, потенциальных рисков и соответствующих контрольных мероприятий, игнорирование некоторых деталей и высокая зависимость от человеческой оценки остаются основными вызовами данного метода [74].

Метод 2: FMEA

Другим методом, аналогичным JSA, является подход, содержащийся в FMEA [63]. Подход FMEA зарекомендовал себя как эффективные инструменты для выявления, приоритизации и снижения операционных рисков, что способствовало снижению частоты отказов, повышению показателей качества и росту производительности за счёт внедрения целевых профилактических мер и стратегий технического обслуживания [62]. Традиционный метод FMEA, как правило, проводится межфункциональной командой, включающей экспертов, обладающих глубокими знаниями о продукте, процессе и различных технических областях. В традиционном подходе FMEA оценка риска осуществляется с использованием числа приоритета риска (RPN) на основе трёх ключевых критериев: серьёзность (Severity, S), вероятность возникновения (Occurrence, O) и обнаруживаемость (Detection, D) (уравнение (5)).

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (5)$$

Показатель RPN позволяет выявить наиболее критические виды отказов, выделяя те из них, которые характеризуются высокой серьёзностью, высокой частотой возникновения и низкой обнаруживаемостью. Данный метод оценки риска широко применяется в керамической промышленности Ирана, однако обладает рядом специфических ограничений. Несмотря на широкое распространение, метод FMEA имеет ряд ограничений. Оценка таких параметров, как тяжесть последствий, вероятность возникновения и обнаруживаемость отказа, во многом основана на экспертном мнении, что повышает субъективность результатов [129]. Использование показателя RPN не всегда позволяет корректно ранжировать риски, поскольку разные сочетания исходных параметров могут давать одинаковое значение при различной степени опасности. Кроме того, метод не учитывает неопределённость и нечёткий характер исходных данных, предполагает независимость критериев и не предусматривает их взвешивание по степени значимости. Всё это ограничивает эффективность применения FMEA при анализе сложных многокомпонентных систем.

Метод 3: Уильяма Файна

Метод Уильяма Файна представляет собой системный подход, разработанный в 1970-х годах и позволяющий ранжировать опасности на основе расчёта показателя риска (RS). Для его определения используются три параметра: тяжесть последствий (Consequence, C), частота

воздействия (Exposure, E) и вероятность возникновения события (Probability, P) (уравнение (6)) [126].

$$RS = C \cdot E \cdot P \quad (6)$$

Особенностью метода является включение экономического обоснования (J-value), что позволяет оценивать эффективность затрат на корректирующие мероприятия и более рационально распределять ресурсы для повышения уровня безопасности. В отличие от простого выявления опасностей, данный подход предусматривает и финансовую оценку целесообразности внедрения контрольных мер: на основе стандартных таблиц определяется уровень тяжести, вероятности и воздействия, после чего сопоставляются затраты на устранение риска с ожидаемыми выгодами [107].

Вместе с тем, как и метод FMEA, метод оценки рисков Уильяма Файна имеет ряд ограничений [126]. Несмотря на системный характер и наличие экономического компонента (J-value), он остаётся частично субъективным, поскольку ранжирование показателей C, P и E основано на экспертных оценках. Кроме того, метод недостаточно гибок при работе с неполными или неопределёнными данными, что может снижать точность оценки и приоритизацию мер контроля. Таким образом, при всей практической ценности для экономически обоснованного распределения ресурсов, метод Уильяма Файна целесообразно дополнять другими количественными или системными подходами для более полной оценки профессиональных рисков [107].

Для преодоления ограничений указанных методов оценки рисков в современных исследованиях для комплексной оценки и ранжирования рисков всё чаще применяются методы многокритериального анализа решений (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) [70,82,116,117]. Более 60 исследований использовали гибридные методы MCDM, такие как аналитический иерархический процесс (Analytical Hierarchy Process, AHP) [59,98], ELECTRE или PROMETHEE, метод последовательного взвешивания (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis, SWARA) [133], важность критериев через межкритериальную корреляцию (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation, CRITIC) [86,132], метод наилучшего–худшего (Best–Worst Method, BWM) [117], нечеткий BWM и байесовский BWM для присвоения весов параметрам риска FMEA и Уильяма Файна, что отражает явное предпочтение иерархическим и парным методам сравнения [133]. В нескольких исследованиях применялись расширенные нечеткие множества (например, ферматеанские, пифагоровы, интуиционистские) и вероятностные лингвистические множества для повышения точности присвоения весов в условиях неопределённости. Другие методы MCDM сосредоточены преимущественно на сравнении и ранжировании альтернатив. К ним относятся комплексная пропорциональная оценка (Complex Proportional Assessment, COPRAS) [116], метод VlseKriterijuska Optimizacija I

Komoromisno Resenje, VIKOR) [65], метод предпочтения по сходству с идеальным решением (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) [134], а также более современный метод комбинированного компромиссного решения (Combined Compromise Solution, CoCoSo) [64,126,129].

Метод CoCoSo интегрирует модель взвешенной суммы (Weighted Sum Model, WSM) с подходом экспоненциально взвешенного произведения (Exponentially Weighted Product, EWP), формируя итоговое ранжирование на основе последовательности сопоставимости, которая объединяет средневзвешенные расстояния и стандартное правило мультипликации [129]. Благодаря своей гибкой методологии и высокой адаптивности метод CoCoSo предоставляет лицам, принимающим решения, динамичную основу, способную эффективно учитывать сложные условия многокритериального принятия решений [126]. После определения альтернатив и критериев оценки процесс принятия решений методом CoCoSo представляет собой последовательную систему шагов, направленных на получение окончательного ранжирования. Эти шаги представлены следующим образом:

Построение матрицы решений (DM): на первом этапе формируется матрица решений, включающая альтернативы и критерии. В уравнении (7) представлена исходная матрица решений:

$$DM = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1, 2, 3 \dots m; j = 1, 2, 3 \dots n. \quad (7)$$

В данном уравнении символ x_{ij} обозначает значение эффективности альтернативы i по отношению к критерию j . Таким образом, матрица решений оценивает m альтернатив по n критериям, которые могут включать как количественные (числовые) данные, так и качественные (лингвистические) оценки.

Нормализация матрицы решений: матрица решений нормализуется для преобразования исходных значений в сопоставимую шкалу от 0 до 1. Метод нормализации зависит от типа критерия — положительного (выгодного) или отрицательного (невыгодного). Для положительных критериев — где более высокие значения указывают на лучшую эффективность — нормализация выполняется с использованием уравнения (8):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (8)$$

Для отрицательных критериев — где предпочтительны более низкие значения — нормализация выполняется с использованием уравнения (9):

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (9)$$

Расчёт взвешенной суммы (S_i) и взвешенной степени (P_i): на данном этапе для каждой альтернативы вычисляются значения S_i и P_i (см. уравнения (10) и (11)). Эти показатели являются ключевыми компонентами метода CoCoSo, объединяющими влияние всех критериев с учётом их весовых коэффициентов. Веса W_j для каждого критерия были предварительно определены с использованием таких методов, как энтропия Шеннона, АНП, ВММ, SWARA или на основе экспертной оценки.

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j r_{ij} \quad (10)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (11)$$

Агрегирование показателей для определения окончательного ранжирования: относительные веса альтернатив определяются с использованием следующих подходов агрегирования. Относительные веса альтернатив рассчитываются с помощью трёх процедур на основе уравнений (12), (13) и (14):

$$K_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)}, \quad (12)$$

$$K_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i}, \quad (13)$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{\lambda \max_i (S_i) + (1 - \lambda) \max_i (P_i)}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (14)$$

Уравнение (12) представляет суммарное значение относительных оценок методов WSM и WPM по отношению к наилучшему варианту. Уравнение (13) — это среднее арифметическое оценок WSM и WPM. Уравнение (14) обеспечивает балансировку между моделями WSM и WPM путём введения параметра λ , который обычно устанавливается равным 0,5. Эффективность метода CoCoSo зависит от выбора этого параметра и других факторов.

Определение итоговой оценки и ранжирование альтернатив: На заключительном этапе рассчитывается интегральный показатель эффективности K_i для каждой альтернативы. Показатель получается путём объединения результатов трёх стратегий агрегирования — K_{ia} , K_{ib} и K_{ic} — согласно уравнению (15):

$$K_i = (K_{ia} K_{ib} K_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (K_{ia} + K_{ib} + K_{ic}) \quad (15)$$

Несмотря на то, что классические методы многокритериального принятия решений, включая CoCoSo, доказали свою эффективность при структурировании сложных задач выбора, их ориентация на точные числовые значения существенно ограничивает применение в реальных условиях, где неопределённость и нечеткость являются неизбежными [126]. В многокритериальных задачах экспертные суждения, как правило, не выражаются в строгих количественных терминах, а формулируются в виде лингвистических оценок, таких как «высокая значимость» или «средний уровень выполнения» [59]. В этих условиях нечеткие расширения методов принятия решений обеспечивают более реалистичную методологическую основу за счёт использования теории нечетких множеств и функций принадлежности, что позволяет учитывать субъективные предпочтения и неточные данные [59,98,106].

Таким образом, метод Fuzzy CoCoSo может быть представлен следующим образом (уравнения (16)–(26)):

Нормализация матрицы решений

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^m, r_{ij}^u) = \frac{\tilde{z}_{ij} - \min(\tilde{z}_{ij})}{\max(\tilde{z}_{ij}) - \min(\tilde{z}_{ij})} \quad (16)$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^l, r_{ij}^m, r_{ij}^u) = \frac{\max(\tilde{z}_{ij}) - \tilde{z}_{ij}}{\max(\tilde{z}_{ij}) - \min(\tilde{z}_{ij})} \quad (17)$$

Расчёт взвешенной суммы (S_i) и взвешенной степени (P_i)

$$\tilde{S}_{ij} = (S_{ij}^l, S_{ij}^m, S_{ij}^u) = \sum_{j=1}^n \tilde{W}_{jc} \tilde{r}_{ij} \quad (18)$$

$$\tilde{P}_{ij} = (P_{ij}^l, P_{ij}^m, P_{ij}^u) = \sum_{j=1}^n (\tilde{r}_{ij})^{\tilde{W}_{jc}} \quad (19)$$

Определение оценки альтернатив на основе нечетких стратегий

$$K_{ia} = \frac{\tilde{P}_i + \tilde{S}_i}{\sum_{i=1}^m (\tilde{P}_i + \tilde{S}_i)} \quad (20)$$

$$K_{ib} = \frac{\tilde{S}_i}{\min \tilde{S}_i} + \frac{\tilde{P}_i}{\min \tilde{P}_i} \quad (21)$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda(\tilde{S}_i) + (1 - \lambda)(\tilde{P}_i)}{\lambda \max(\tilde{S}_i) + (1 - \lambda) \max(\tilde{P}_i)}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (22)$$

Дефаззификация стратегий

$$k_{ia} = \frac{k_{ia}^l + k_{ia}^m + k_{ia}^u}{3} \quad (23)$$

$$k_{ib} = \frac{k_{ib}^l + k_{ib}^m + k_{ib}^u}{3} \quad (24)$$

$$k_{ic} = \frac{k_{ic}^l + k_{ic}^m + k_{ic}^u}{3} \quad (25)$$

Определение итоговой оценки и ранжирование альтернатив

$$K_i = (k_{ia} \cdot k_{ib} \cdot k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (26)$$

Такой подход позволяет снизить зависимость от жёстко заданных детерминированных параметров и одновременно повысить устойчивость процесса принятия решений, учитывая свойственные человеческому мышлению неопределённость и неоднозначность (рисунок 1.14).

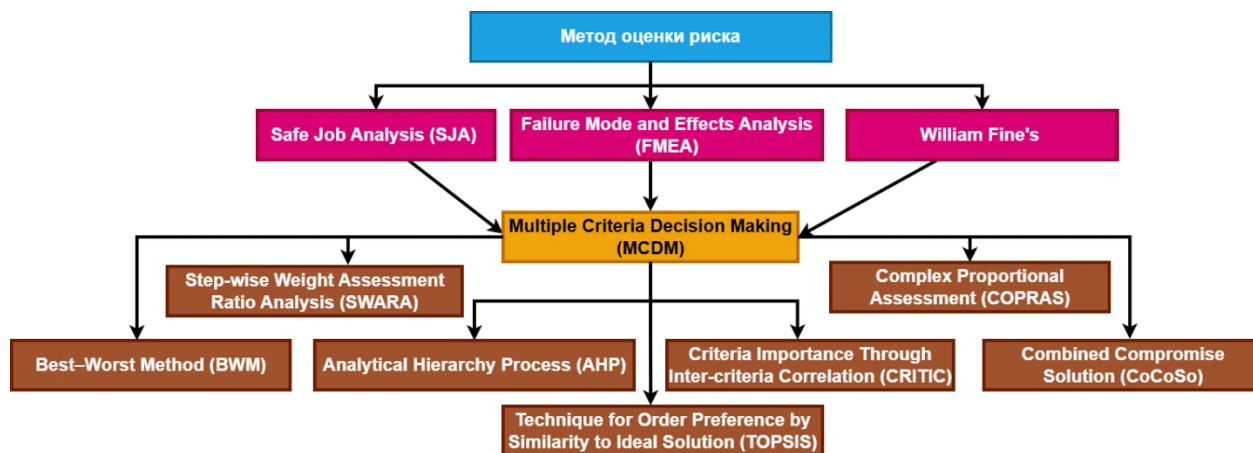


Рисунок 1.14 – Методы оценки рисков и взвешивание критериев (составлено автором)

Несмотря на достигнутый прогресс в области оценки риска, керамическая промышленность по-прежнему сталкивается с трудностями при системном внедрении комплексных подходов к управлению рисками. Основные проблемы безопасности работников связаны с воздействием АПФД (SiO_2), повышенного уровня шума, неблагоприятных микроклиматических условий и недостаточной освещённости. Указанные факторы производственной среды создают непосредственную угрозу для здоровья и безопасности персонала, что обуславливает необходимость разработки комплексного количественного метода оценки риска, основанного на реальных измеренных значениях каждого из них. Такой подход позволит более объективно оценить опасность условий труда и обосновать приоритетность профилактических и корректирующих мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности на предприятиях отрасли. Следует также отметить, что качественные методы оценки, такие как JSA, FMEA и метод Уильяма Файна, включая их модифицированные варианты, не позволяют учитывать количественные значения факторов при расчёте риска. В связи с этим разработка комплексного количественного метода, основанного на сочетании указанных факторов, позволит преодолеть существующие ограничения и обеспечить более точную и реалистичную оценку риска в сложных и неопределённых условиях.

Метод 4: Комплексная оценка профессионального риска для здоровья (Comprehensive Occupational Health Risk Assessment, COHRA)

Метод СОHRA представляет собой структурированный подход, предназначенный для выявления, анализа и количественной оценки рисков, связанных с воздействием различных вредных производственных факторов, таких как шум, химические вещества и эргономические нагрузки. По сути, данный метод позволяет оценивать уровень риска для различных ВПФ независимо от их природы.

Метод 5: Оценка риска жизненного цикла (Life Cycle Risk Assessment, LCRA)

Метод оценки риска на основе жизненного цикла представляет собой системный подход к выявлению, анализу и управлению рисками на протяжении всего жизненного цикла продукта или технологического процесса — от получения сырья до стадии утилизации [66,67]. В отличие от традиционных оценок, ограниченных рамками производственного этапа, данный метод обеспечивает целостный и превентивный анализ возможных негативных воздействий на здоровье человека и окружающую среду [84]. Он объединяет принципы анализа жизненного цикла (Life Cycle Assessment, LCA) и оценки риска, что позволяет выявлять уязвимые звенья на каждом этапе, принимать более обоснованные управленческие решения, повышать устойчивость процессов и обеспечивать безопасность. Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования с применением метода LCRA, представлены на рисунке 1.15 в виде алгоритма.

Несмотря на свою комплексность, метод LCRA обладает существенными ограничениями при применении в области оценки профессиональных рисков на промышленных предприятиях, включая керамическую промышленность. Во-первых, LCRA не учитывает критически важные параметры рабочего процесса, такие как численность работников, фактическое время и интенсивность воздействия, продолжительность смен, особенности условий труда и распределение нагрузки между работниками. Во-вторых, метод изначально ориентирован на анализ воздействий на протяжении полного жизненного цикла продукта от добычи сырья до утилизации и преимущественно учитывает экологические последствия, потребление ресурсов и социальные воздействия, а не реальные условия производственной среды. В результате LCRA не адаптирован для оценки рисков, связанных с воздействием ВПФ непосредственно в рабочей зоне, и потому не соответствует целям данного исследования, сфокусированного исключительно на рабочих местах, специфических производственных процессах и профессиональной экспозиции работников.

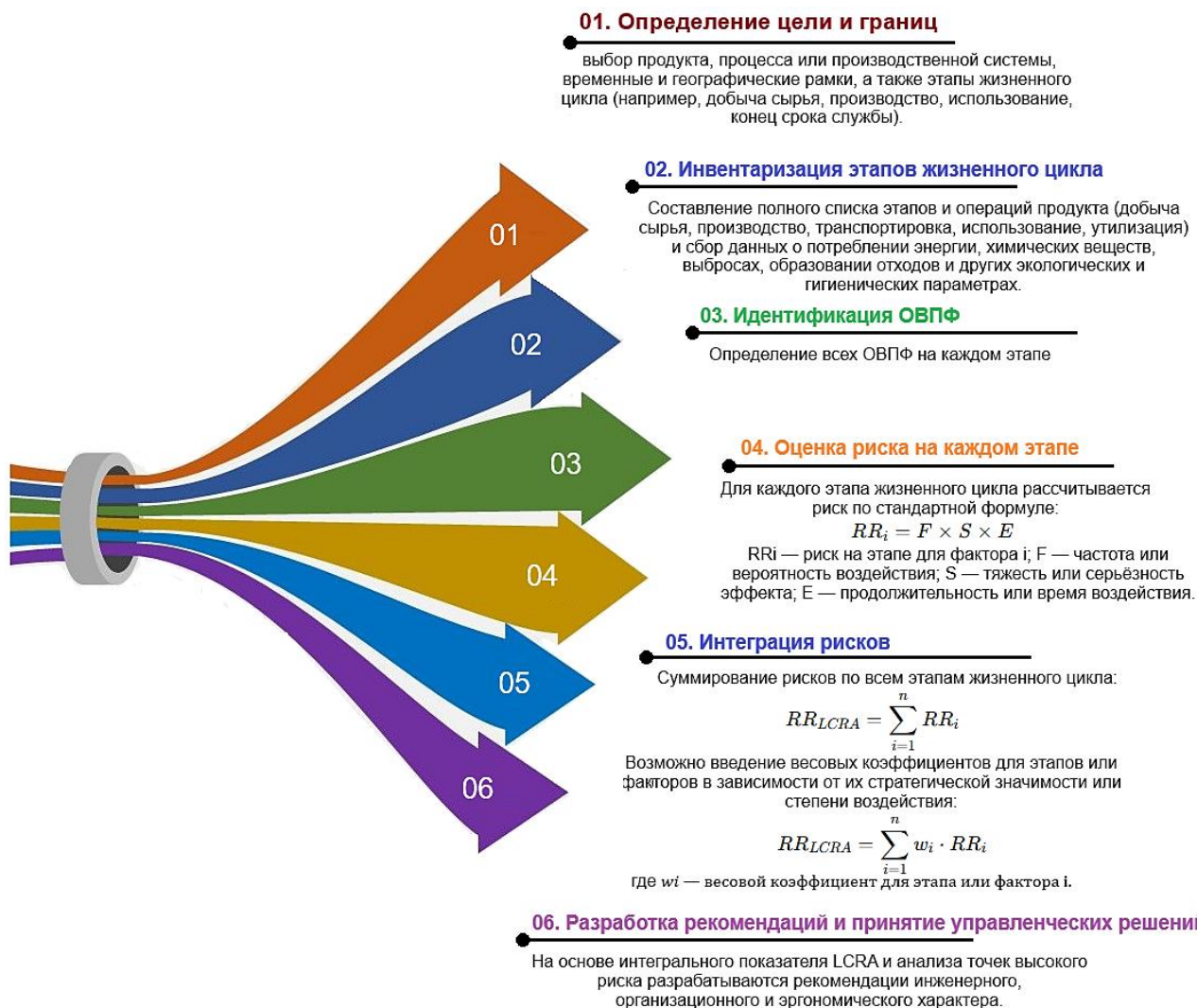


Рисунок 1.15 – Этапы LCRA (составлено автором)

Для определения подходящей стратегии оценки риска в области охраны труда и техники безопасности в керамической промышленности были изучены количественные и полуколичественные методы оценки профессиональных рисков, разработанные и применяемые в последние годы. Ниже представлены дополнительные пояснения восьми количественных методов оценки риска, которые могут послужить теоретико-методологической основой для разработки усовершенствованных подходов к оценке профессиональных рисков в керамической промышленности.

Метод 6: Оценка опасности профессиональных заболеваний (The Occupational Disease Hazard Evaluation Method, ODHEM)

Данный метод был разработан на основе метода оценки индекса профессионального риска в сочетании с оценкой уровня управления охраной труда на предприятии. Согласно этой модели, комплексный уровень риска предприятия определяется двумя ключевыми показателями: 1) индекс профессионального риска (Risk Index Grade) и 2) качество управления

охраной труда (Management Quality). Индекс профессионального риска рассчитывается по формуле (27):

$$R_{\text{ОДНЕМ}} = 2^{(\text{HEL})} \cdot 2^{(\text{ER})} \cdot \text{WCL}, \quad (27)$$

где используются три основных компонента:

Уровень воздействия на здоровье (Health Effect Level, HEL) отражает тяжесть возможных последствий для здоровья работника при воздействии вредного фактора (Таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Количественная оценка уровня воздействия на здоровье (составлено автором)

Балл	Степень воздействия	Характер возможных последствий	Примеры
0	Отсутствует	Нет негативного влияния	ниже фонового уровня
1	Незначительное	Обратимые функциональные изменения	раздражение кожи
2	Лёгкое	Временное заболевание	головная боль, усталость
3	Среднее	Профессиональное заболевание лёгкой степени	бронхит
4	Серьёзное	Хроническое заболевание	потеря слуха
5	Очень серьёзное	Инвалидность	пневмокониоз
6	Критическое	Смертельный исход / онкологический эффект	рак, токсическое поражение

Соотношение воздействия (Exposure Ratio, ER) показывает степень фактического воздействия вредного фактора относительно допустимого уровня. Обычно рассчитывается по формуле (28):

$$ER = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{ПДК}}}, \quad (28)$$

где $C_{\text{факт}}$ – фактическая концентрация,

$C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация.

Значение ER получено на основе таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Количественная оценка соотношения воздействия (составлено автором)

Отношение воздействия	Балл ER	Интерпретация
≤ 0.1 ПДК	0	Практически отсутствует
0.1 – 0.5 ПДК	1	Низкое воздействие
0.5 – 1 ПДК	2	Допустимое воздействие
1 – 2 ПДК	3	Превышение нормы
2 – 5 ПДК	4	Высокое воздействие
5 – 10 ПДК	5	Очень высокое
> 10 ПДК	6	Экстремальное воздействие

Уровень рабочего состояния (Working Condition Level, WCL) характеризует реальные условия труда и выступает как линейный корректирующий коэффициент. Значение WCL определяется на основе таблицы 1.6.

Таблица 1.6 – Количественная оценка условий труда (составлено автором)

Балл	Условия труда	Характеристика
0.50	Отличные	автоматизация, эффективная вентиляция, полный контроль
0.75	Хорошие	инженерные меры защиты работают стабильно
1.00	Удовлетворительные	базовые меры защиты
1.25	Неблагоприятные	периодические нарушения
1.50	Плохие	недостаточная вентиляция, редкое применение СИЗ
2.00	Очень плохие	отсутствие контроля, высокая длительность воздействия

Модель ODHEM предполагает, что профессиональные риски: 1) имеют нелинейный характер; 2) резко возрастают при одновременном увеличении тяжести воздействия и уровня экспозиции. По этой причине используется экспоненциальная зависимость.

После расчета значения R_{ODHEM} результаты классифицируются по пяти уровням опасности согласно таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Классификация уровней риска на основе индекса риска (составлено автором)

Уровень риска	Диапазон индекса риска	Характеристика
1	≤ 6	Безопасный (отсутствие опасности)
2	$6 < \text{Индекс риска} \leq 11$	Лёгкая опасность
3	$11 < \text{Индекс риска} \leq 23$	Средняя опасность
4	$23 < \text{Индекс риска} \leq 80$	Высокая опасность
5	> 80	Чрезвычайно высокая опасность

Качество управления оценивается путем взвешивания различных показателей, характеризующих систему охраны труда и здоровья на предприятии. На основе полученных баллов устанавливаются пять категорий (Таблица 1.8).

Таблица 1.8 – Классы качества системы менеджмента охраны труда и техники безопасности (составлено автором)

Граница значений	Категория управления
< 0.6	Неудовлетворительно
$0.6 - 0.7$	Удовлетворительно
$0.7 - 0.8$	Средний уровень
$0.8 - 0.9$	Хороший уровень
≥ 0.9	Отличный уровень

Комбинируя оценку индекса риска и качество управления, строится матричная модель, позволяющая определить интегральный уровень профессионального риска предприятия (Таблица 1.9).

Таблица 1.9 – Комплексная матрица оценки риска для модели оценки профессиональных заболеваний (составлено автором)

Качество управления (MQ)	Отсутствие опасности	Слабая опасность	Умеренная опасность	Высокая опасность	Чрезвычайная опасность
Отличное	A	A	B	C	C
Хорошее	A	B	B	C	D
Удовлетворительно	B	B	C	D	D
Допустимое	B	B	C	D	D
Неудовлетворительное	B	C	D	D	D

Эта матрица позволяет определить интегральный (комплексный) уровень риска предприятия. Например, если предприятие имеет высокий индекс профессионального риска, но качество управления охраной труда оценивается как «хорошее» или «отличное», общий риск может быть понижен до среднего уровня. В то же время предприятие с умеренным индексом $R_{\text{ОДНЕМ}}$, но с неудовлетворительным управлением охраной труда, может быть отнесено к категории высокого или даже чрезвычайного риска. Таким образом, модель позволяет не только количественно оценить опасность условий труда, но и комплексно учитывать управленческие факторы, что обеспечивает более точную и объективную оценку состояния безопасности на предприятии.

Метод 7: Комплексная оценка риска профессиональных заболеваний

На основе анализа научной литературы, представленной в Российской Федерации, были разработаны различные методы комплексной оценки профессиональных рисков. Например, в работе Малышева предложен метод комплексной оценки профессионального риска, основанный на статистике профессиональных заболеваний. Ниже приводится подробное описание данного метода [19].

Уравнение (29) представляет общее выражение метода комплексной оценки профессионального риска.

$$R\Sigma(\text{ПЗ}) = P_{\text{пз}} \cdot N \cdot W \cdot t, \quad (29)$$

где $R\Sigma(\text{ПЗ})$ – совокупный показатель профессионального риска,

$P_{\text{пз}}$ – вероятность возникновения профессионального заболевания,

N – численность работников, подвергающихся воздействию ВПФ,

W – доля времени, затрачиваемая на выполнение профессиональных обязанностей,

t – временной интервал, в течение которого осуществляется оценка воздействия ВПФ [19].

Значения $P_{\text{пз}}$ для каждого вида профессионального заболевания рассчитываются по формуле (30), а значения $P_{\text{пз}}^{\text{общ}}$ по всем видам заболеваний определяются по формуле (31).

$$P_{пз} = \frac{I_{пз} \cdot S_{пж}}{365} \quad (30)$$

$$P_{пз}^{общ} = \sum_i \frac{I_{пз} \cdot S_{пж}}{365}, \quad (31)$$

где $I_{пз}$ – индекс профессиональной заболеваемости,

$S_{пж}$ – сокращение продолжительности жизни.

В случаях отсутствия фактических данных о заболеваемости значения $I_{пз}$ определяются на основе информации, представленной в таблице 1.10, что позволяет обеспечить непрерывность и полноту анализа риска профессиональных заболеваний для всех исследуемых производственных подразделений.

Таблица 1.10 – Классы условий труда, отнесенные к $I_{пз}$ [19]

Класс условий труда по Руководству Р 2.2.755-99	Индекс профзаболеваний $I_{пз}$ (постр./чел.)	Категория профессионального риска
Оптимальный – 1	0	Риск отсутствует
Допустимый – 2	< 0,05	Пренебрежимо малый (переносимый) риск
Вредный – 3.1	0,05 – 0,11	Малый (умеренный) риск
Вредный – 3.2	0,12 – 0,24	Средний (существенный) риск
Вредный – 3.3	0,25 – 0,49	Высокий (непереносимый) риск
Вредный – 3.4	0,5 – 1,0	Очень высокий (непереносимый) риск
Опасный (экстремальный)	1,0	Сверхвысокий риск, присущий данной профессии

Значение $S_{пж}$ для каждой рабочей группы определяется по таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Среднее время сокращения продолжительности жизни в зависимости от класса условий труда [19]

Класс и степень вредности условий труда в соответствии с Р 2.2.2006	Среднее время сокращения продолжительности жизни ($S_{пж}$), дней/чел.
1	0
2	менее 0,01
3.1	0,01 – 0,3
3.2	0,3 – 0,8
3.3	0,8 – 3
3.4	3 – 8
4	15

Величина $R\Sigma(I_{пз})$ характеризует величину сокращения общей продолжительности жизни (в годах) всех работающих в результате профессиональных заболеваний. Чем выше этот индекс, тем выше общий риск профессии с точки зрения профессиональных заболеваний.

Ограничения существующих методов оценки профессиональных рисков: Ограничения существующих методов оценки профессиональных рисков в керамической промышленности

прежде всего связаны с их качественным или полуколичественным характером. Такие методы, как JSA, FMEA и Уильяма Файна, в значительной степени зависят от субъективных экспертных оценок, что снижает точность и воспроизводимость результатов. Ранжирование параметров риска основывается на опыте и восприятии специалистов, а не на объективных измеряемых данных. Кроме того, данные подходы не позволяют учитывать реальные количественные значения вредных производственных факторов, таких как концентрация пыли диоксида кремния, уровень шума или параметры микроклимата, что ограничивает их применимость в условиях современных производств.

Дополнительные ограничения связаны с тем, что указанные методы не всегда позволяют в полной мере учитывать сложные, многокомпонентные и динамически изменяющиеся риски. Так, метод JSA ориентирован преимущественно на анализ отдельных операций и физических опасностей, тогда как химические, эргономические и организационные факторы нередко остаются вне его рассмотрения. Методы многокритериального анализа решений, несмотря на свою эффективность при структурировании задач, требуют точных числовых входных данных и слабо адаптированы к условиям неопределённости без применения нечетких расширений. В связи с этим их использование усложняется, а интерпретация результатов требует высокой квалификации специалистов.

Наконец, такие подходы, как оценка риска жизненного цикла, несмотря на их комплексный характер, не в полной мере ориентированы на реальные условия рабочей среды и профессиональную экспозицию работников. В них не учитываются такие важные параметры, как продолжительность воздействия, численность персонала и интенсивность труда, поскольку основное внимание уделяется преимущественно экологическим аспектам. В целом существующие методы не обеспечивают интегрированной количественной оценки совокупного воздействия различных вредных факторов, что затрудняет принятие обоснованных управленческих решений. Это подтверждает необходимость разработки более совершенных, комплексных и количественно ориентированных подходов к оценке профессиональных рисков.

1.4 Выводы по первой главе

В первой главе диссертационной работы рассмотрены теоретические и прикладные основы оценки условий труда и профессиональной заболеваемости в керамической промышленности. Проведён анализ современного состояния и особенностей развития керамической промышленности Ирана, показано её значительное экономическое значение и широкое использование выпускаемой продукции в строительстве и других отраслях экономики. Кроме того, в главе представлен систематический обзор и анализ современных методов оценки профессиональных рисков с точки зрения их применимости в условиях керамической промышленности Ирана.

Установлено, что технологические процессы керамического производства сопровождаются воздействием на работников комплекса вредных производственных факторов, включая повышенные уровни шума, запылённость, неблагоприятные параметры микроклимата и другие факторы производственной среды. Длительное воздействие этих факторов может приводить к ухудшению состояния здоровья работников и развитию профессиональных заболеваний. Особое внимание в работе уделено анализу шумового воздействия как одного из наиболее значимых вредных факторов в керамической промышленности. Показано, что среди профессиональных заболеваний значительное место занимает шумовая нейросенсорная тугоухость, распространённость которой в последние годы имеет тенденцию к росту.

Международный опыт демонстрирует устойчивую тенденцию к переходу от качественных методов оценки риска, таких как JSA, FMEA и метод Уильяма Файна, а также полуколичественных подходов, к более сложным гибридным и количественным моделям, интегрирующим современные технологии, включая машинное обучение и байесовские методы. Это подтверждается ростом числа научных публикаций по данной тематике в период с 1984 по 2024 год. Вместе с тем классические подходы, несмотря на их историческую значимость, обладают существенными ограничениями при применении в условиях керамического производства. Они часто субъективны, не учитывают синергетическое воздействие множества ВПФ и, что критично для данной отрасли, не позволяют напрямую интегрировать количественные данные измерений (концентрация АПФД (SiO_2), шума, параметры микроклимата и освещенности). В литературе наблюдается активное внедрение методов MCDM (АНР, TOPSIS, CoCoSo) для приоритизации и взвешивания критериев риска, что позволяет преодолеть ограничения субъективности подходов FMEA и метода Уильяма Файна. Особое внимание уделено нечетким расширениям MCDM для работы с лингвистическими оценками и неопределенностью. Тем не менее, усовершенствованные методы также имеют определённые ограничения и не учитывают синергетическое воздействие вредных факторов. Метод LCRA признан нерелевантным для прямого применения в данной работе, так как он фокусируется на продукте в целом, игнорируя ключевые параметры рабочей среды (численность персонала, фактическое время воздействия) непосредственно на производстве. Полученные в данной главе результаты формируют теоретическую и методическую основу для дальнейшего исследования условий труда на выбранном предприятии керамической промышленности Ирана и последующей оценки профессиональных рисков, что будет рассмотрено в следующих главах диссертационной работы.

ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основная цель данной главы — провести обзор этих методов и определить наиболее подходящий с учетом стоящих перед нами задач и возможностей его применения для условий керамической промышленности Ирана.

2.1 Методы оценки профессионального риска, основанные на одном факторе

Метод 1: Оценка риска для здоровья (Health Risk Assessment, HRA)

Данный метод был разработан Агентством по охране окружающей среды США (EPA) [24,121]. Метод EPA представляет собой количественный подход к оценке рисков при вдыхании вредных веществ [124]. Он включает две части: онкологический риск, оценивающий вероятность развития рака, и неонкологический риск, оценивающий другие неблагоприятные эффекты на здоровье [138]. Метод учитывает концентрацию веществ, длительность и частоту воздействия, что позволяет формировать количественные показатели риска и разрабатывать меры профилактики [8-10]. Уравнения (32–34) являются основными уравнениями данного метода.

$$LCR = \frac{C \cdot BR \cdot DS \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot CSF, \quad (32)$$

$$EC = \frac{C \cdot DS \cdot EF \cdot ED}{AT}, \quad (33)$$

$$HQ = \frac{EC}{RfC}, \quad (34)$$

где LCR (Lifetime Cancer Risk) – дополнительный пожизненный онкологический риск (безразмерная величина),

HQ (Hazard Quotient) – коэффициент опасности (безразмерная величина),

C (Chemical concentration in medium) – концентрация химического вещества в среде (мг/м³),

BR (Breathing rate) – интенсивность дыхания (м³/час),

DS (Duration of Shift) – продолжительность рабочей смены (час/день),

EF (Exposure Frequency) – частота воздействия (дней/год),

ED (Exposure Duration) – продолжительность воздействия (лет),

BW (Body Weight) – масса тела (кг),

AT (Average Lifetime) – усредненное время для онкологических эффектов (равно ожидаемой продолжительности жизни в днях),

EC (Exposure Concentration) – фактическая концентрация воздействия или уровень экспозиции (мг/м³),

CSF (Cancer Slope Factor) – фактор наклона онкологического потенциала (мг/кг·день),

RfC – хронический референтный уровень воздействия (мг/м³).

В отличие от HRA, который выражается единым числовым показателем, методология USEPA предусматривает использование нескольких дескрипторов риска в сочетании с защитными точечными оценками [120]. Одним из ключевых инструментов данной методологии является метод Монте-Карло, который в наибольшей степени соответствует задачам диссертационного исследования [113]. Метод Монте-Карло представляет собой статистический подход и служит эффективным способом получения таких дескрипторов риска, позволяя снизить неопределённость результатов [25]. В его основе лежит не одна «главная формула», а совокупность вероятностных и статистических соотношений. В общем виде искомая величина записывается как математическое ожидание функции случайной величины X с плотностью распределения $p(x)$ (уравнение (35)):

$$E[f(X)] = \int f(x)p(x)dx, \quad (35)$$

которое приближённо вычисляется с использованием выборки независимых реализаций X_1, X_2, \dots, X_N (уравнение (36)):

$$E[f(X)] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \quad (36)$$

Сходимость данного приближения обеспечивается законом больших чисел (уравнение (37)):

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} E[f(X)], \quad (37)$$

а точность оценки характеризуется дисперсией $\sigma^2 = \text{Var}(f(X))$ и убывает как $\text{Var}(\bar{f}_N) = \frac{\sigma^2}{N}$, что приводит к стандартной ошибке порядка $O(N^{-1/2})$. В силу центральной предельной теоремы выполняется асимптотическое нормальное распределение ошибки (уравнение (38)):

$$\sqrt{N} (\bar{f}_N - E[f(X)]) \sim N(0, \sigma^2) \quad (38)$$

Для повышения эффективности вычислений применяется метод важностной выборки, при котором вводится вспомогательное распределение $q(x)$ (уравнение (39)):

$$E[f(X)] = \int \frac{f(x)p(x)}{q(x)} q(x)dx \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \frac{p(x_i)}{q(x_i)} \quad (39)$$

а в более общем случае для сложных распределений используются методы Монте-Карло с марковскими цепями (MCMC), например алгоритм Метрополиса-Кастлица с вероятностью принятия (уравнение (40)). Данный алгоритм позволяет генерировать выборку из целевого распределения $p(x)$, известного с точностью до нормировочной константы, путём построения марковской цепи, переходы которой определяются вероятностью принятия:

$$\alpha = \min\left(1, \frac{p(x')q(x | x')}{p(x)q(x' | x)}\right) \quad (40)$$

Применение МСМС становится особенно целесообразным в тех случаях, когда использование традиционной независимой выборки затруднено вследствие высокой размерности задачи, сложной корреляционной структуры или отсутствия аналитического выражения для распределения, что нередко наблюдается при моделировании неопределённостей в экологических и токсикологических рисках. Таким образом, алгоритм Метрополиса–Гастингса в сочетании с марковскими цепями представляет собой универсальный инструмент для аппроксимации математических ожиданий $E[f(X)]$ и построения интервальных оценок риска в тех случаях, когда прямое интегрирование или методы простой случайной выборки оказываются неэффективными либо неприменимыми.

Применение метода Монте-Карло в рамках HRA можно описать следующим образом: вместо фиксированных значений входных параметров, таких как концентрация веществ, продолжительность воздействия или физиологические характеристики, используются вероятностные распределения, отражающие естественную вариабельность и неопределённость измерений [41]. Многократное моделирование со случайным выбором значений из этих распределений позволяет получить набор возможных исходов и построить их распределение [23]. Анализ результатов даёт возможность оценить не только средний уровень риска, но и вероятность возникновения экстремальных ситуаций, что способствует более обоснованному принятию управленческих решений и разработке эффективных мер контроля, направленных на защиту здоровья работников.

Алгоритм применения метода Монте-Карло для количественной оценки риска состоит в последовательном выполнении нескольких этапов (рисунок 2.1).

На первом этапе для всех входных параметров задаются распределения вероятностей с учётом их вариабельности и неопределённости [120]. Далее с помощью генератора случайных чисел формируется множество реализаций каждого параметра для большого числа итераций, что позволяет смоделировать различные сценарии воздействия. На каждом шаге итерационного процесса рассчитываются значения HQ и LCR по соответствующим формулам, после чего формируются статистические распределения полученных результатов [41]. На заключительном этапе анализируются эти распределения, в том числе с использованием гистограмм и кумулятивных функций, что позволяет количественно оценить вероятность превышения пороговых значений и сделать обоснованные выводы о потенциальной опасности воздействия на здоровье человека [25].

Экспериментальные данные по АПФД (SiO_2) были статистически обработаны методом Монте-Карло с использованием программного обеспечения Crystal Ball 11.1.2.

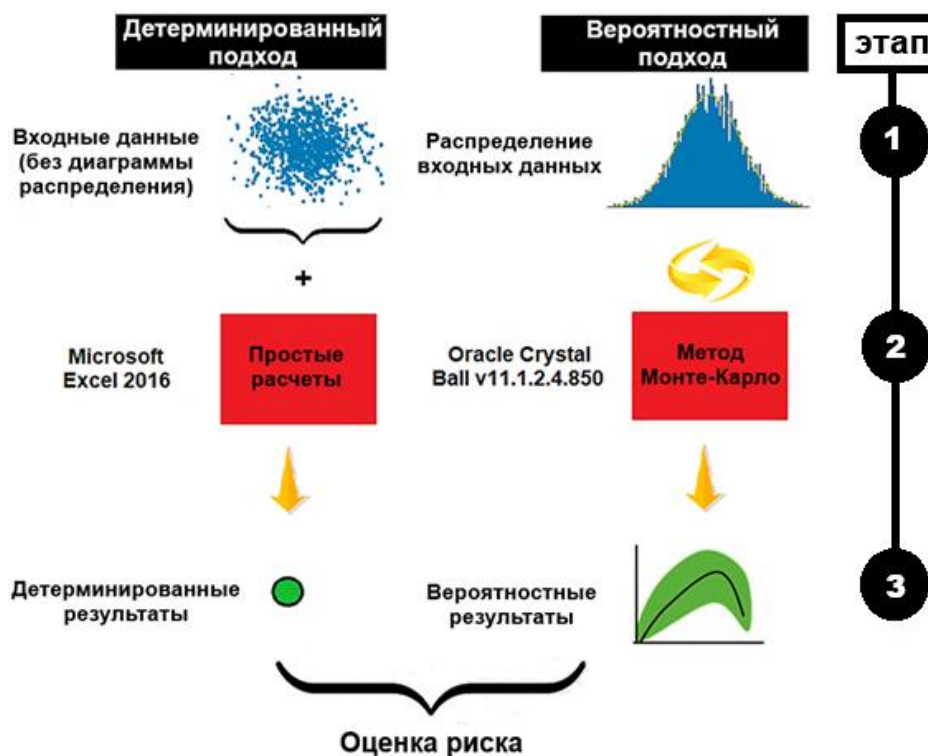


Рисунок 2.1 – Детерминистический и вероятностный подходы к оценке риска [16]

Метод 2: Количественная оценка риска воздействия шума (Quantitative Noise Risk Assessment, QNRA)

Это аналитический метод, основанный на числовых данных и предназначенный для оценки и количественного анализа рисков, связанных с профессиональным воздействием шума на рабочих местах. Индекс непрерывного шума на рабочем месте (Workplace Hum Continuous noise index, W_{HC}) используется в качестве одного из показателей для оценки степени шумового загрязнения, создаваемого технологическим оборудованием (уравнение (41)) [127].

$$W_{\text{HC}} = \frac{\sum_i^j k_{65-85\text{dB}} \cdot S_{0i}}{S_0} \quad (41)$$

где S_0 – оцениваемая площадь рабочего пространства (m^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)), (m^2),

k – коэффициент, характеризующий отношение уровня опасности от непрерывного шума, который определяется уравнениями (42) и (43):

$$k = \frac{10^{0.1(L_{\text{Aeq}} - M)}}{10^{0.1(85 - M)}} \quad (42)$$

$$L_{\text{Aeq}} = L_{\text{Aeq,Te}} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \quad (43)$$

где L_{Aeq} – эквивалентный уровень звукового давления с коррекцией по шкале А (дБ(А)),

M – минимальный уровень шума,

$L_{Aeq,Te}$ – 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.

Для расчёта индекса $W_{НС}$ необходимо было определить пространственное распределение значений L_{Aeq} в пределах каждой рабочей группы. С этой целью применялся метод интерполяции обратных расстояний (IDW, Inverse Distance Weighting), на основе которого были построены карты шумовых контуров с уровнями ниже 65, 65, 70, 75, 80 и 85 дБ(А). Значения индекса $W_{НС}$ варьировались от 0 до 1: значение 0 соответствовало благоприятной акустической среде, при которой воздействие непрерывного шума было несущественным, а значение 1 — неблагоприятным условиям, характеризующимся вредным влиянием непрерывного шума на работников.

Метод 3: Индекс риска параметров освещения ($R_{по}$)

Предложенный индекс позволяет проводить сравнительный анализ различных рабочих мест по степени визуального комфорта и потенциального риска ошибок, связанных с недостаточной освещённостью. Для количественной оценки принимаются следующие параметры:

E_{avg} – средняя освещённость на рабочей поверхности (лк),

E_{min} – минимальная освещённость (лк),

$U = \frac{E_{min}}{E_{avg}}$ – коэффициент равномерности освещения,

G – показатель ослеплённости (UGR).

Определение параметров, входящих в структурно-логическую схему, представлено на рисунке 2.2.

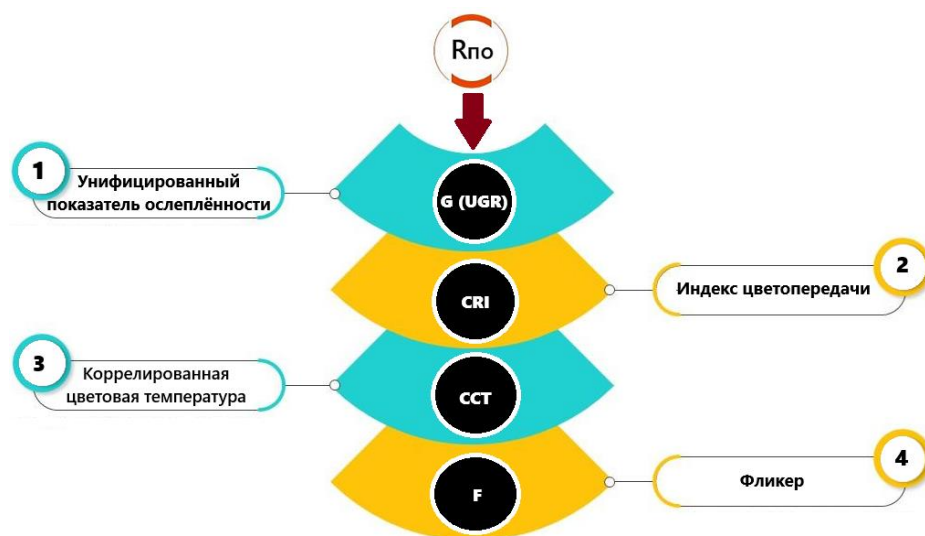


Рисунок 2.2 – Параметры индекса $R_{по}$ (составлено автором)

Объединение этих параметров в единый комплексный показатель позволит учесть их совокупное влияние на зрительные органы рабочего, а также на все факторы, определяющие освещенность (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Параметры, необходимые для составления индекса $R_{ПО}$ (составлено автором)

На основании анализа нормативно-технических и нормативно-правовых источников литературы мы предлагаем объединить указанные на схеме величины в единое уравнение (44):

$$R_{ПО} = 100 \cdot (w_E f_E + w_U f_U + w_G f_G + w_C f_C + w_F f_F), \quad (44)$$

где w_i – весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость каждого параметра ($\sum w_i = 1$);

f_i – нормализованные функции, принимающие значения от 0 (оптимальное состояние) до 1 (максимальный риск).

100 – масштабирующий коэффициент, используемый для приведения итогового значения интегрального показателя риска к шкале от 0 до 100, что обеспечивает удобство интерпретации и сопоставимость результатов оценки.

Обозначения E, U, G, C и F соответствуют параметрам освещённости, равномерности освещения, ослеплённости, цветопередачи и мерцания ламп соответственно. Выбор весовых коэффициентов w_E , w_U , w_G , w_C и w_F основан на их относительном влиянии на зрительное восприятие, производительность труда и утомляемость работников. При определении весов учитываются следующие факторы:

- Нормативные документы и стандарты освещённости (ISO 8995 / CIE S 008, EN 12464 и национальные нормы охраны труда), согласно которым дефицит уровня освещённости оказывает наиболее выраженное влияние на качество зрительной работы, тогда как

ослеплённость и неравномерность освещения имеют несколько меньший, но всё же значимый эффект.

- Результаты эргономических и физиологических исследований, свидетельствующие о том, что снижение освещённости ниже рекомендуемого уровня вызывает наибольшие ошибки и быструю зрительную усталость по сравнению с изменением цветопередачи или мерцания источников света.
- Экспертная оценка специалистов по гигиене труда и светотехнике, позволяющая скорректировать весовые значения с учётом конкретных условий производства и характера зрительных задач.

Значения параметров уравнения оценки риска недостаточности освещения представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры и расчётные зависимости индекс $R_{\text{ПО}}$ (составлено автором)

Обозначение	Параметр	Описание и физический смысл	Расчётная формула	Значение параметра
(w_E)	Весовой коэффициент освещённости	Отражает относительную значимость фактического уровня освещённости. Основной фактор, определяющий видимость и точность работы.	-	0.45
(w_U)	Вес равномерности освещения	Определяет влияние распределения освещённости по рабочей поверхности. Влияет на комфорт зрительной адаптации.	-	0.15
(w_G)	Вес ослеплённости	Учитывает влияние блескости и визуального дискомфорта.	-	0.2
(w_C)	Вес цветопередачи	Характеризует роль индекса цветопередачи и цветовой температуры. Важно для работ, требующих различения цветов.	-	0.1
(w_F)	Вес фликера	Отражает влияние нестабильности светового потока (пульсации). Умеренное влияние на самочувствие и зрительное напряжение.	-	0.1

Продолжение таблицы 2.1

Обозначение	Параметр	Описание и физический смысл	Расчётная формула	Значение параметра
(f_E)	Коэффициент достаточности освещённости	Оценивает отклонение средней освещённости от нормативного значения.	$f_E = \text{clamp} \left(1 - \frac{E_{\text{avg}}}{E_{\text{req}}} \right)$ <p>где E_{req} – требуемая освещённость в зависимости от категории зрительной работы.</p>	0–1
(f_U)	Коэффициент равномерности	Характеризует неравномерность распределения света.	$f_U = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{avg}}} = \text{clamp} \left(1 - \frac{U}{U_{\text{ref}}} \right)$ <p>$U_{\text{ref}} = 0,6$</p>	0–1
(f_G)	Коэффициент ослеплённости	Определяет влияние блескости по шкале UGR (Unified Glare Rating) или визуальной оценке.	Полевая оценка осуществляется по следующей шкале: ослеплённость отсутствует соответствует значению 0; слабая ослеплённость – 0,25; средняя – 0,5; выраженная – 0,75; сильная ослеплённость, вызывающая дискомфорт – 1.	0–1
(f_C)	Коэффициент цветопередачи	Оценивает качество цветопередачи источников света с использованием индекса цветопередачи (CRI).	Полевая оценка выполняется на основе индекса CRI: при CRI не менее 90 значение коэффициента принимается равным 0; при CRI, равном 60, значение составляет 0,25; при CRI, равном 40, значение составляет 0,50; при CRI не более 20 значение равно 1,00.	0–1
(f_F)	Коэффициент фликера	Характеризует уровень пульсации освещения.	Полевая оценка проводится следующим образом: при отсутствии фликера значение равно 0; при слабом или периодическом фликере – 0,5; при выраженном фликере, вызывающем утомление глаз – 1.	0–1

Таким образом, весовые коэффициенты позволяют сбалансировать физические и психофизиологические аспекты зрительной нагрузки и могут быть скорректированы с учётом специфики производственной среды и особенностей визуальных задач.

После определения показателя риска недостаточной освещённости результаты расчёта сопоставляются с установленными диапазонами риска, представленными в таблице 2.2. Данная таблица обеспечивает количественную оценку степени отклонения параметров световой среды от оптимальных эргономических условий и позволяет определить выраженность зрительного дискомфорта у работников. Применение предложенной шкалы способствует объективной интерпретации результатов и выбору приоритетных направлений для оптимизации системы освещения и снижения профессиональных рисков.

Таблица 2.2 – Интерпретация результатов оценки риска недостаточной освещённости (составлено автором)

Значение $R_{по}$	Уровень риска	Характеристика состояния освещённости	Рекомендуемые действия
0 – 20	Очень низкий (оптимальный)	Условия освещения полностью соответствуют нормативам; зрительная нагрузка минимальна.	Корректировка не требуется.
20 – 40	Низкий	Освещённость в целом достаточна, возможны незначительные отклонения по равномерности или цветопередаче.	Периодический контроль.
40 – 60	Средний	Отмечаются признаки зрительного напряжения при длительной работе.	Частичная оптимизация системы освещения.
60 – 80	Высокий	Световая среда неблагоприятна, повышается риск зрительного дискомфорта и ошибок восприятия.	Проведение технических и организационных мероприятий по улучшению освещения.
80 – 100	Очень высокий (критический)	Условия освещения недопустимы, возможны негативные физиологические последствия.	Необходима полная модернизация системы освещения.

Метод 4: Индекс риска параметров микроклимата (Индекс $R_{пм}$)

Для индекса риска микроклимата мы предлагаем модель, основанную на совокупности физиологических показателей и показателей производственной среды. В основе предлагаемого метода лежит определение индекса ТНС (температурно-влажностного индекса). Путём нормализации и взвешивания этих параметров в соответствии с их вкладом в развитие теплового стресса рассчитывается итоговый балл риска в диапазоне от 0 до 100 (рисунок 2.4).

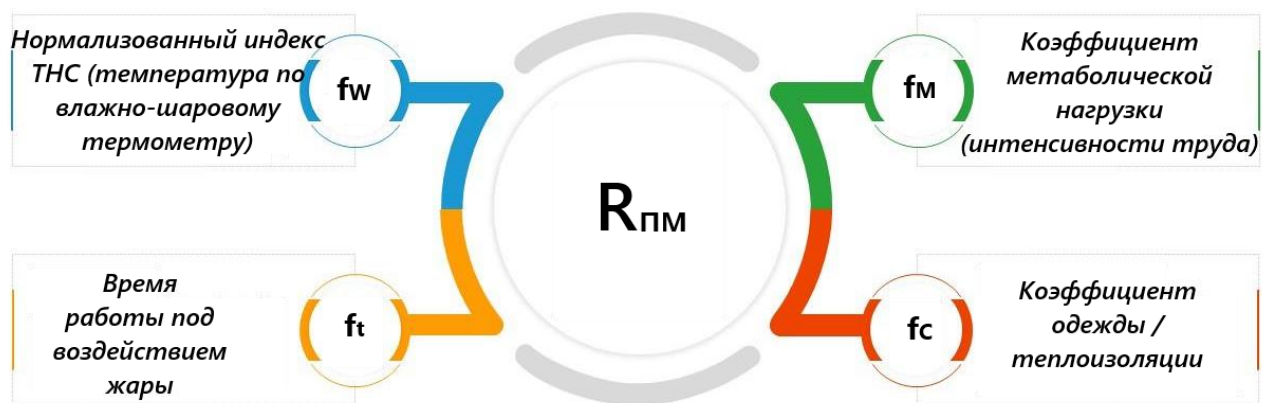


Рисунок 2.4 – Параметры индекса $R_{\text{пм}}$ (составлено автором)

Основная цель предложенной формулы заключается в создании интегрированного, простого и прикладного индекса, который количественно отражает взаимосвязь между экологическими и физиологическими факторами теплового воздействия в производственной среде (уравнение (45)).

$$R_{\text{пм}} = 100 \cdot (0.5f_w + 0.2f_t + 0.2f_M + 0.1f_C) \cdot (1 - 0.25A) \cdot f_H, \quad (45)$$

где $R_{\text{пм}}$ – итоговый балл риска (от 0 до 100),

f_w – нормализованный индекс ТНС (температура по влажно-шаровому термометру). Используя уравнение (46), получаем значение параметра f_w .

$$f_w = \text{clamp} \left(\frac{\text{ТНС} - 20}{20} \right) \quad (46)$$

В данной модели показатель f_w отражает вклад тепловых условий окружающей среды в общий риск теплового воздействия. Чтобы можно было объединить этот показатель с другими факторами (такими как длительность, интенсивность труда и одежда), его необходимо нормализовать, то есть привести к безразмерной шкале от 0 до 1.

В настоящем исследовании измеренные значения индекса ТНС варьировали в диапазоне от 15,08 °С до 25,80 °С, что ниже пороговых уровней, принятых в международных стандартах (20–40 °С). В связи с этим для корректного отражения относительных различий тепловой нагрузки в пределах исследуемых условий показатель f_w нормализуется в пределах фактического диапазона данных. Нормализация проводится по формуле (47):

$$f_w = \frac{\text{ТНС} - 15,08}{25,80 - 15,08} \quad (47)$$

что обеспечивает шкалирование значений от 0 (минимальная тепловая нагрузка при 15,08 °С) до 1 (максимальная наблюдаемая нагрузка при 25,80 °С).

f_t – нормализованная длительность воздействия (в часах) (уравнение (48)):

$$f_t = \text{clamp} \left(\frac{t}{8} \right), \quad (48)$$

где t – время работы под воздействием жары (до 8 часов нормируется к 1).

f_M – коэффициент метаболической нагрузки (интенсивности труда). Значение этого коэффициента для лёгкой работы составляет 0,3, для средней работы – 0,6, для тяжёлой работы – 1.

f_C – коэффициент одежды и теплоизоляции (уравнение (49)):

$$f_C = \text{clamp} \left(\frac{I - 0.6}{2} \right), \quad (49)$$

где I – теплоизоляция одежды в единицах clo (0,6 соответствует лёгкой одежде).

A – акклиматизация (привыкание к жаре). Если рабочие адаптированы к теплу, значение A равно 1; в противном случае значение этого коэффициента равно 0. Акклиматизация уменьшает риск на 25 %.

f_H – уровень гидратации. Значение коэффициента f_H при адекватной гидратации равно 1, при умеренной дегидратации – 1,25, при тяжёлой дегидратации – 1,5.

Результаты оценки риска теплового стресса работников представляются с использованием пятиуровневой шкалы, приведённой в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Шкала оценки риска по индексу R_{PM} (составлено автором)

Значение R_{PM}	Уровень риска	Рекомендации
< 20	Низкий	Обычный контроль
20–40	Средний	Увеличить паузы и потребление воды
40–60	Высокий	Снизить нагрузку, чаще отдыхать
60–80	Очень высокий	Ограничить тяжёлую работу, контроль условий
≥ 80	Экстремальный	Прекратить работу, охлаждение и медосмотр

Для определения итогового уровня риска метод включает расчёт степени воздействия (Exposure Rating, ER) или коэффициента дефицита (Deficiency Rate, DR) и уровня опасности (Hazard Ratio, HR). В отличие от упрощённых методов оценки риска, COHRA обеспечивает формирование детализированного профиля риска, что позволяет обоснованно расставлять приоритеты в выборе мер защиты, обеспечивать соответствие нормативным требованиям и повышать уровень сохранения здоровья работников, особенно на предприятиях с повышенной опасностью, таких как промышленные предприятия [57,130].

С учетом вышеизложенного, для определения рейтинга риска (Risk Rating, RR) предлагается уравнение (50).

$$RR = \sqrt{ER (DR) \cdot HR} \quad (50)$$

При этом считаем, что выведенное нами уравнение будет отражать взаимосвязь между двумя основными параметрами HR и ER (DR) и представляет собой математическую модель,

применяемую для количественной оценки уровня риска, связанного с воздействием ВПФ на рабочем месте.

Для определения уровня ER (DR) в первую очередь рассчитывается средневзвешенное по времени недельное воздействие (Average Weekly Exposure, E) каждого вредного производственного фактора. Этот показатель отражает общее воздействие фактора на работника в течение рабочей недели с учётом продолжительности и частоты контакта. Расчёт средневзвешенной концентрации осуществляется на основании уравнения (51), которое учитывает суточную продолжительность воздействия, количество рабочих дней в неделю, а также интенсивность воздействия вредного фактора [57].

$$E = \frac{F \cdot D \cdot M}{W} \quad (51)$$

где F — частота воздействия в неделю (6.00 раз),

M — это средние уровни воздействия ВПФ,

W — среднее количество рабочих часов в неделю (48 ч),

D — средняя продолжительность каждого воздействия (8 ч).

Затем полученные значения E приводятся к нормативным ориентирам путём деления на допустимый предел воздействия, установленный действующими санитарно-гигиеническими нормативными документами для каждого конкретного ВПФ. В результате применения данного соотношения средней недельной дозы воздействия к допустимому пределу дозы воздействия (Permissible Exposure Limits, PEL) (E/PEL) получают малые значения для рассматриваемых ВПФ, что показывает, насколько фактический уровень воздействия приближается к допустимому пределу или превышает его. Для ВПФ, значения которых ниже предельно допустимых, то есть недостаток или минимальный уровень которых может привести к профессиональному риску, вместо ER используется DR. DR определялся как отношение PEL к E. Полученное отношение E/PEL (или PEL/E) сопоставляется с классификационной таблицей 2.4 для перевода расчётных значений в стандартизированную шкалу ER (DR).

Таблица 2.4 – Шкала ER/DR для стандартизации значений ВПФ (составлено автором)

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

Для определения второго параметра по уравнению (17), необходимого для расчёта RR, — коэффициента HR, используется таблица 2.5. Эта таблица содержит классификацию уровней тяжести воздействия ВПФ на здоровье работников, основанную на потенциальной степени вреда от незначительных отклонений до тяжёлых хронических заболеваний и угрозы жизни. Присвоение значений HR проводится на основе экспертной оценки с помощью метода чек-

листа, данных научной литературы и санитарных нормативов, что обеспечивает обоснованность и воспроизводимость результатов оценки.

Таблица 2.5 – Классификация HR (составлено автором)

Значение	Уровни риска	Описание
1	Незначительный	Обратимые эффекты без потери трудоспособности: головная боль, лёгкая мышечная боль, состояния, требующие только первой помощи.
2	Умеренный	Обратимые проблемы, требующие лечения: химические ожоги, интоксикация, пищевые отравления, пропуск рабочего дня.
3	Значительный	Обратимые нарушения здоровья с временной утратой трудоспособности: воздействие тепла, тепловой удар, неврологические расстройства (без потери сознания), лёгкие инфекции.
4	Высокий	Стойкие или приводящие к утрате трудоспособности заболевания (пневмокониоз, потеря слуха), а также возможный смертельный исход.
5	Критический	Опасные условия, смертельные отравления, необратимые последствия для здоровья, экстремальный шум, крайне неблагоприятные параметры световой среды.

*Американская конференция государственных специалистов по промышленной гигиене (American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)) [51].

После количественного определения параметров ER и HR для каждого вредного фактора применяется матрица оценки рисков (рисунок 2.5), которая позволяет классифицировать уровень профессионального риска по каждой идентифицированной опасности. Эта процедура обеспечивает переход от количественных измерений к качественной оценке, необходимой для приоритизации профилактических мероприятий. В этой матрице значения RR представлены по пятибалльной шкале (от 1 до 5), где более высокие оценки отражают большую степень серьёзности риска. Оценка 1 соответствует незначительному риску, тогда как оценка 5 отражает крайне высокий уровень риска, требующий немедленного принятия мер (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Матрица RR (составлено автором)

Уровни относительного RR для воздействия вредных веществ определяются с учётом данных таблицы 2.6.

Таблица 2.6 – Уровни RR для ВПФ (составлено автором)

Счет	Уровни риска	Описание
5	Очень высокий	Необходимы немедленные действия по удалению работников от источников опасности.
4-4.99	Высокий	Осуществление технического контроля, измерение воздействия не реже одного раза в год и принятие временных мер контроля.
3-3.99	Умеренный	Риск требует срочного внимания. Риск, возможно, был под контролем, но из-за возможности возникновения он требует регулярных проверок.
1-2.99	Низкий	Никаких немедленных действий не требуется. Риск сейчас под контролем.

Анализ предшествующих исследований в области оценки профессиональных рисков показывает, что большинство существующих методик основано на анализе отдельных факторов риска и, как правило, не учитывает их совместного воздействия. Научная новизна настоящего исследования заключается в разработке комплексного подхода, позволяющего оценивать синергетическое воздействие совокупности рассматриваемых в диссертационной работе ВПФ одновременно. Предложенные автором методы обеспечивают интегральную оценку риска, отражающую реальную производственную ситуацию и позволяющую более полно учитывать комплексное воздействие ВПФ на состояние здоровья работников.

Ниже приводится описание комплексного метода оценки риска, основанного на жизненном цикле продукции. Следует отметить, что данный подход сталкивается с рядом методологических ограничений. Вначале подробно рассматривается сама методика, а затем анализируются её слабые стороны, что впоследствии позволит разработать усовершенствованную и существует комплексную систему оценки профессиональных рисков.

2.2 Разработка комплексных показателей оценки профессиональных рисков

На основании анализа методов, рассмотренных выше в разделе 2.1, автором разработаны и обоснованы два комплексных метода оценки профессиональных рисков. Метод CRA основан на использовании количественных данных об уровнях ВПФ, численности работников и времени их фактического воздействия, величины которых представлены в первой главе. Метод RΣ(ПЗ) базируется на анализе профессиональной заболеваемости работников и использует данные о состоянии здоровья работников, также приведённые в первой главе. Алгоритм формирования первого комплексного подхода к оценке рисков представлен на рисунке 2.6.

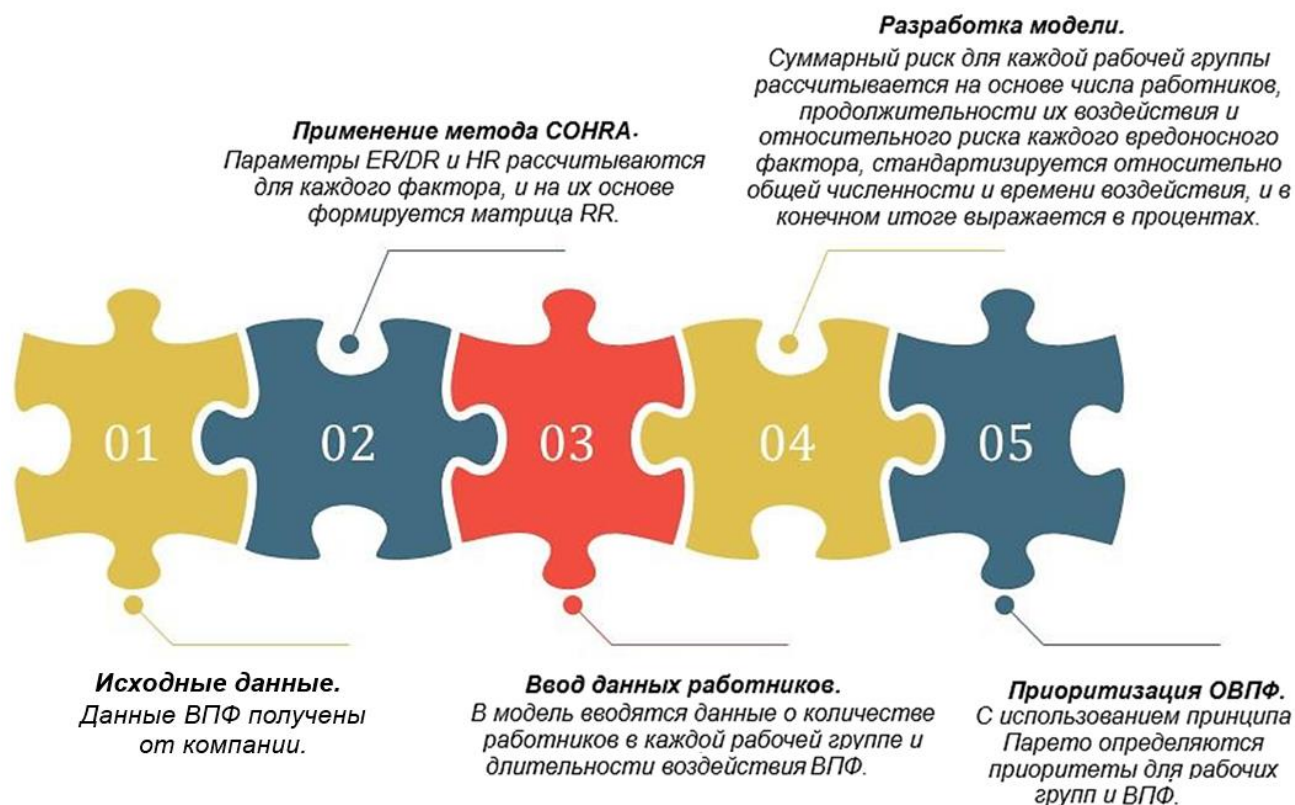


Рисунок 2.6 – Алгоритм формирования комплексного индекса риска (составлено автором)

Одним из ключевых преимуществ разработанного комплексного метода оценки профессиональных рисков является применение подхода СОНРА в сочетании с матрицей риска, что обеспечивает более полную, системную и обоснованную оценку. На первом этапе осуществляется идентификация и определение доминирующих ВПФ, после чего для каждого из них рассчитываются параметры HR и ER (DR). Далее на основе полученных значений формируется матрица риска, позволяющая определить уровень RR для каждого ВПФ. Кроме того, значения RR рассчитываются отдельно для каждой рабочей группы, что обеспечивает дифференцированный учёт условий труда.

На последующем этапе параметры, характеризующие продолжительность воздействия на работников и численность работников в каждой рабочей группе, используются при формировании комплексного индекса риска.

На заключительном этапе суммарный риск для каждой рабочей группы рассчитывается на основе численности работников, продолжительности их воздействия и относительного риска каждого вредного фактора, затем стандартизируется по общей численности работников и времени воздействия и в конечном итоге выражается в процентном виде.

С учётом ранее описанных этапов и разработанного алгоритма обобщённая форма полученного уравнения представляется в виде уравнения (52). Уравнение (53) представляет собой упрощённую форму комплексного индекса риска. Синергетический эффект суммарного воздействия ВПФ оценивается с использованием данного уравнения, предназначенного для

количественного определения комбинированного влияния нескольких ВПФ, одновременно воздействующих на работников.

$$CRA = \frac{(RR_1 \cdot p_1 \cdot t_1) + (RR_2 \cdot p_2 \cdot t_2) + (RR_3 \cdot p_1 \cdot t_1) + \dots + (RR_n \cdot p_n \cdot t_n)}{\sum P \cdot T} \cdot 100 \quad (52)$$

$$CRA = \frac{\sum_{i=1}^n RR_i \cdot p_i \cdot t_i}{\sum P \cdot T} \cdot 100 \quad (53)$$

где CRA – комплексная оценка рисков,

RR – рейтинг риска как весовой коэффициент,

p_i — количество людей, подвергающихся воздействию ВПФ,

t_i — среднее время воздействия для группы работ (часы),

P — общее количество работников,

T — общее время воздействия.

После определения значений CRA вредные факторы и рабочие группы ранжируются по приоритетности на основе принципа Парето (таблица 2.7). В соответствии с принципом Парето, согласно которому 20 % значений CRA обуславливают до 80 % последствий, была проведена стратегическая классификация уровней комплексного показателя риска [14]. После определения минимальных и максимальных значений комплексного показателя риска весь диапазон его значений условно делится на три приоритетные категории:

- Высокий приоритет — верхние 20 % значений CRA,
- Средний приоритет — значения в диапазоне от 20 % до 80 %,
- Низкий приоритет — нижние 20 % значений CRA.

Таблица 2.7 – Приоритезация ВПФ и рабочих групп на основе принципа Парето (составлено автором)

Приоритет	Оценка CRA	Вредные факторы
Высокий	$CRA_{\text{максимум}} - 0.20 (CRA_{\text{максимум}} - CRA_{\text{минимум}})$	Верхние 20% значений CRA
Средний	$CRA_{\text{максимум}} - 0.80 (CRA_{\text{максимум}} - CRA_{\text{минимум}}) \leq CRA < CRA_{\text{максимум}} - 0.20 (CRA_{\text{максимум}} - CRA_{\text{минимум}})$	Средние 60% значений CRA
Низкий	$CRA_{\text{максимум}} - 0.80 (CRA_{\text{максимум}} - CRA_{\text{минимум}})$	Нижние 20% значений CRA

Данное распределение позволило сфокусировать внимание на наиболее значимых источниках риска, при этом сохраняя системный подход к управлению менее приоритетными рабочими местами.

2.3 Выводы по второй главе

Во второй главе диссертационного исследования проведённый анализ позволил сформировать методологическую базу для выбора и адаптации наиболее адекватных подходов

к оценке безопасности труда на предприятиях данной отрасли. На основе анализа международного опыта и существующих методологий сделаны следующие основные выводы:

Изучены и проанализированы такие методы, как HRA с применением модели Монте-Карло. Для расчёта параметров воздействия ВПФ предложены индексы R_E (освещённость) и R_{PM} (микроклимат). Данные методы позволяют осуществлять более объективную количественную оценку рисков, связанных с конкретными факторами.

В качестве методологической основы диссертационного исследования предложен системный алгоритм комплексной оценки профессиональных рисков. Его ключевым элементом является расчёт индекса CRA, который агрегирует данные о RR, численности подвергающихся воздействию ВПФ работников и времени воздействия. Это позволяет получить интегральную количественную оценку, выраженную в процентах, что удобно для сравнительного анализа и определения приоритетности рисков.

Таким образом, в главе 2 сформирована научно обоснованная методологическая база для эмпирической оценки профессиональных рисков на керамических предприятиях. Разработанные комплексные методы являются необходимым инструментом для принятия эффективных управленческих решений в сфере охраны труда, направленных на снижение уровня профессиональной заболеваемости и создание безопасных условий труда.

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКА В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Во второй главе была реализована задача всестороннего изучения современных методологических подходов к оценке профессиональных рисков, что позволило сформировать теоретическую основу для последующего анализа. Настоящая глава направлена на углубление и расширение ранее проведённых исследований с целью совершенствования системы управления охраной труда в керамической промышленности за счёт применения как индивидуальных методов оценки профессиональных рисков, адаптированных к условиям керамического производства, так и комплексных методов. Основой анализа служат данные о воздействии ВПФ производственной среды и состоянии здоровья работников.

Используемый в работе методологический инструментарий охватывает полный цикл управления рисками в керамической промышленности. Это включает как методы проспективной оценки (применяемые до реализации мероприятий для прогнозирования и ранжирования рисков), так и методы ретроспективного анализа (используемые после для оценки достигнутых результатов и эффективности вмешательств). Таким образом, применяемые показатели профессионального риска реализуют свою функцию в превентивном и корректирующем аспектах. На проспективном этапе данные показатели используются для прогнозирования и ранжирования степени опасности рабочих мест, определения приоритетных направлений профилактических мероприятий, научного обоснования инженерных и организационных решений, а также принятия упреждающих управленческих мер, направленных на снижение экспозиции ВПФ и повышение эффективности системы охраны труда. На ретроспективном этапе эти же показатели служат основой для анализа причинно-следственных связей возникновения профессиональных заболеваний и травматизма, корректировки программ охраны труда и совершенствования нормативно-методической базы. В конечном итоге это способствует развитию интегрированных систем мониторинга, обеспечивающих постоянный контроль профессиональных рисков. Подобный двуединый подход формирует замкнутый цикл управления – от предупреждения потенциальных угроз до анализа реализовавшихся последствий и обратной связи, что является ключевым условием для построения устойчивой и адаптивной системы безопасности в керамической промышленности.

3.1 Анализ уровней воздействия вредных производственных факторов в рабочих группах

АПФД (SiO₂). В период прохождения научно-производственной практики мы проанализировали состав и физико-химические свойства обращающейся на производстве АПФД. Нами установлено, что наиболее опасным компонентом этой пыли является диоксид кремния. Поэтому в дальнейшей работе под АПФД мы понимаем различные морфологические

модификации диоксида кремния. Аэрозоль преимущественно фиброгенного действия представляет собой диоксид кремния. В рамках настоящего диссертационного исследования, которое выполнено на предприятии «Goldis» керамической промышленности, уровень АПФД (SiO_2) определялся в соответствии с методическими рекомендациями NIOSH (документ № 7601) [110] с использованием стандартных методов отбора и анализа проб воздуха из рабочих групп. Следует отметить, что все пробы были измерены специалистом лаборатории предприятия в течение трёх рабочих смен и в условиях отсутствия вентиляции; в период научно-технической стажировки часть данных была получена автором диссертации.

Национальные нормативы Ирана устанавливают предельно допустимые уровни воздействия для каждой фракции АПФД, при этом для аэрозолей, содержащих SiO_2 , как вещества с выраженным фиброгенным действием, предусмотрены более жёсткие гигиенические требования. Согласно национальным стандартам Ирана, допустимый уровень воздействия SiO_2 не должен превышать $0,025 \text{ мг/м}^3$. Уровни концентрации данного вредного соединения в АПФД (SiO_2) представлены на рисунке 3.1. Результаты измерений содержания данного токсичного компонента в пробах АПФД, отобранных в различных рабочих группах, на основе средних концентраций представлены следующим образом: дробилка ($0,131 \text{ мг/м}^3$) > распыление шаровой мельницы ($0,074 \text{ мг/м}^3$) > обжиговая печь ($0,067 \text{ мг/м}^3$) > пресс-сушилка ($0,061 \text{ мг/м}^3$) > глазурование ($0,047 \text{ мг/м}^3$) > окончательная обработка и упаковка ($0,031 \text{ мг/м}^3$) > линия глазурования ($0,018 \text{ мг/м}^3$) (рисунок 3.1).

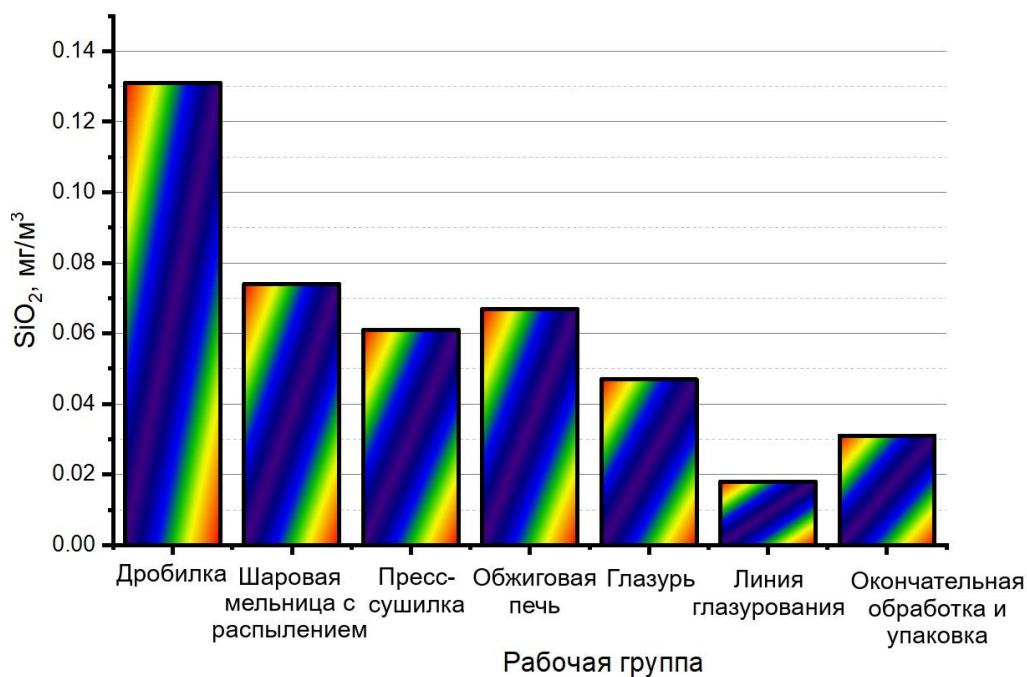


Рисунок 3.1 – Распределение уровней АПФД (SiO_2) по рабочим группам в керамической промышленности (составлено автором)

Полученные данные свидетельствуют о существенной неоднородности уровней воздействия SiO_2 между рабочими группами, что обусловлено особенностями выполняемых технологических операций, степенью пылеобразования, а также отсутствием или неэффективностью применяемых инженерных мер защиты.

На основе анализа совокупности данных о профессиональных заболеваниях работников керамической промышленности была проведена оценка функции дыхательной системы у работников, подвергавшихся воздействию АПФД (SiO_2). Следует отметить, что указанные данные были получены в составе материалов диссертационного исследования в ходе научно-технической стажировки. В связи с этим, при соблюдении принципов этики исследования, статистическая обработка данных была выполнена автором диссертации. Показатели функции лёгких анализировались по следующим основным параметрам:

Форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЕЛ, Forced Vital Capacity, FVC) — это максимальный объём воздуха, который человек может выдохнуть с максимальным усилием после максимально глубокого вдоха. Данный показатель характеризует общий объём лёгких, участвующий в процессе дыхания.

Объём форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁, Forced Expiratory Volume in the first second, FEV₁) является одним из основных показателей проходимости дыхательных путей. Его снижение, как правило, свидетельствует о наличии бронхиальной обструкции, то есть сужения просвета бронхов.

Индекс Тиффно, или отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ (Tiffeneau-Pinelli index, FEV₁/FVC), рассчитывается как соотношение двух указанных показателей и служит важным дифференциально-диагностическим критерием. Снижение индекса Тиффно характерно для обструктивных нарушений, например при бронхиальной астме и хронической обструктивной болезни лёгких, тогда как его сохранение при уменьшении ФЖЕЛ указывает на рестриктивный тип нарушений, в том числе при фиброзе лёгких и кифосколиозе [26,101].

Интерпретация результатов спирометрии была выполнена автором диссертации в соответствии с рекомендациями Американского торакального общества (American Thoracic Society, ATS). Показатели, значения которых были ниже нижней границы нормы, рассматривались как признаки нарушения функции лёгких, что позволило классифицировать выявленные вентиляционные нарушения как обструктивные, рестриктивные или смешанные [122].

Референсные диапазоны и пороговые значения основных параметров функции внешнего дыхания представлены в таблице 3.1.

Пример результатов анализа функции дыхания работников керамической промышленности Ирана на основе показателей, представленных на рисунке 3.2, приведён ниже.

Следует отметить, что анализ функции дыхания работников проводился в тот же период, когда измерялись концентрации АПФД.

Таблица 3.1 – Референсные диапазоны параметров функции внешнего дыхания по стандартам ATS (составлено автором на основании [44])

Респираторный статус	% прогнозируемого		
	Индекс ФЖЕЛ	Индекс ОФВ1	Индекс ОФВ1/ФЖЕЛ
Норма	> 80% (Норма)	> 80% (Норма)	70–85 (Норма)
Обструктивный	Норма или < 80%	< 80%	< 70
Рестриктивный	< 80%	Норма или < 80%	≥ 85 (Норма или высокий)
Смешанный	< 80%	< 80%	< 70

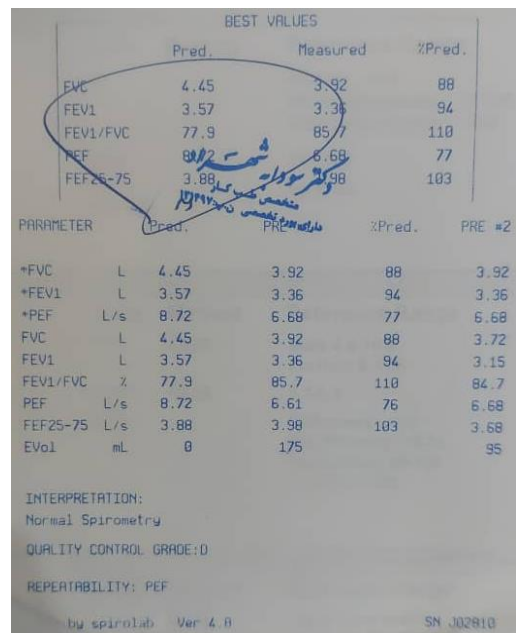
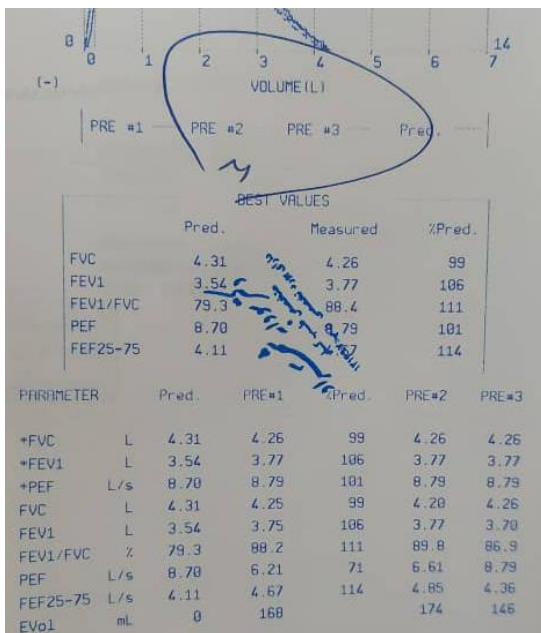
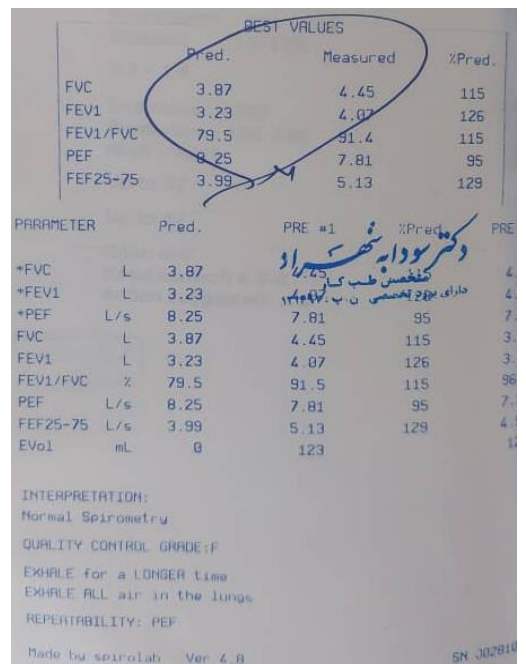
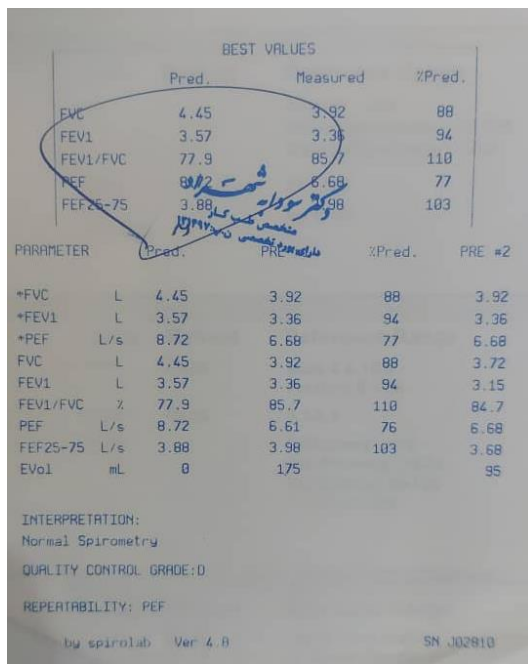


Рисунок 3.2 – Примеры анализа функции дыхания работников керамической промышленности Ирана

В группах дробилки, распыления шаровой мельницы и глазурования зафиксированы нормальные показатели ФЖЕЛ, ОФВ₁ и ОФВ₁/ФЖЕЛ, что свидетельствует о нормальном состоянии дыхательной системы.

Напротив, в группе окончательной обработки и упаковки выявлена наибольшая распространённость патологических изменений, включая выраженные обструктивные нарушения и потенциальные рестриктивные изменения. Данная картина демонстрирует повышенный риск развития профессиональных заболеваний лёгких среди работников этой рабочей группы.

В группах линия глазурования и печь выявлены единичные случаи пограничных обструктивных изменений, тогда как в группе пресс отмечены отдельные случаи снижения ФЖЕЛ, потенциально указывающие на начальные рестриктивные нарушения (рисунок 3.3).

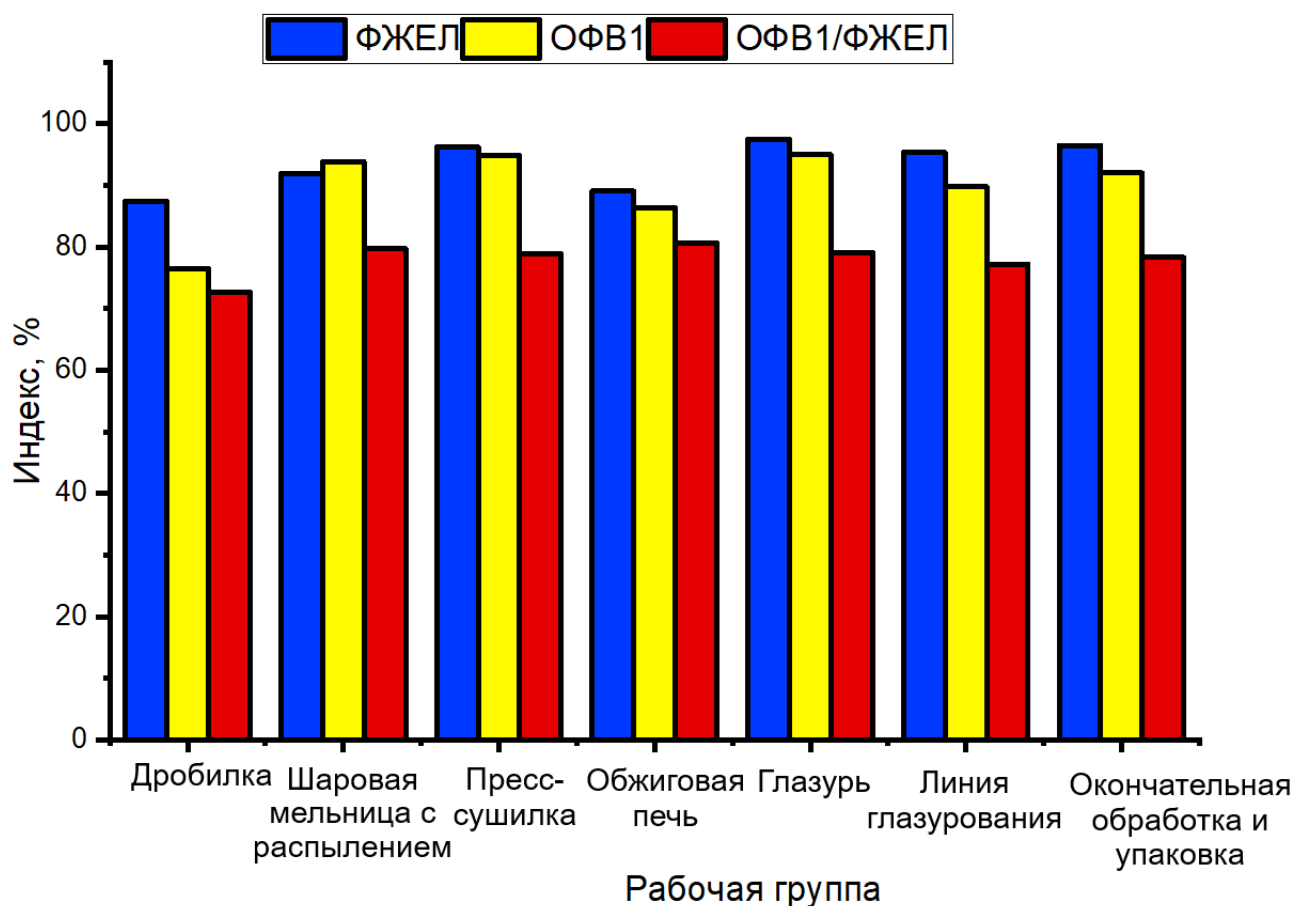


Рисунок 3.3 – Значения параметров спирометрии по рабочим группам (составлено автором)

В нашем исследовании, с учётом ненормального распределения данных, для оценки взаимосвязи между уровнями воздействия SiO₂ и показателями функции дыхания был использован ранговый корреляционный анализ Спирмена. Значение данного коэффициента находится в диапазоне от -1 до +1: положительные значения указывают на прямую зависимость между переменными, отрицательные – на обратную зависимость, а значение,

близкое к нулю, свидетельствует об отсутствии значимой связи. Согласно общепринятой интерпретации, значения от 0,00 до 0,09 отражают пренебрежимо слабую корреляцию, от 0,10 до 0,39 – слабую, от 0,40 до 0,69 — умеренную, от 0,70 до 0,89 – сильную и от 0,90 до 1,00 — очень сильную корреляционную связь (аналогичная классификация применяется и для отрицательных значений коэффициента). Величина коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r_s) для каждого показателя функции дыхательной системы представлена на рисунке 3.4.

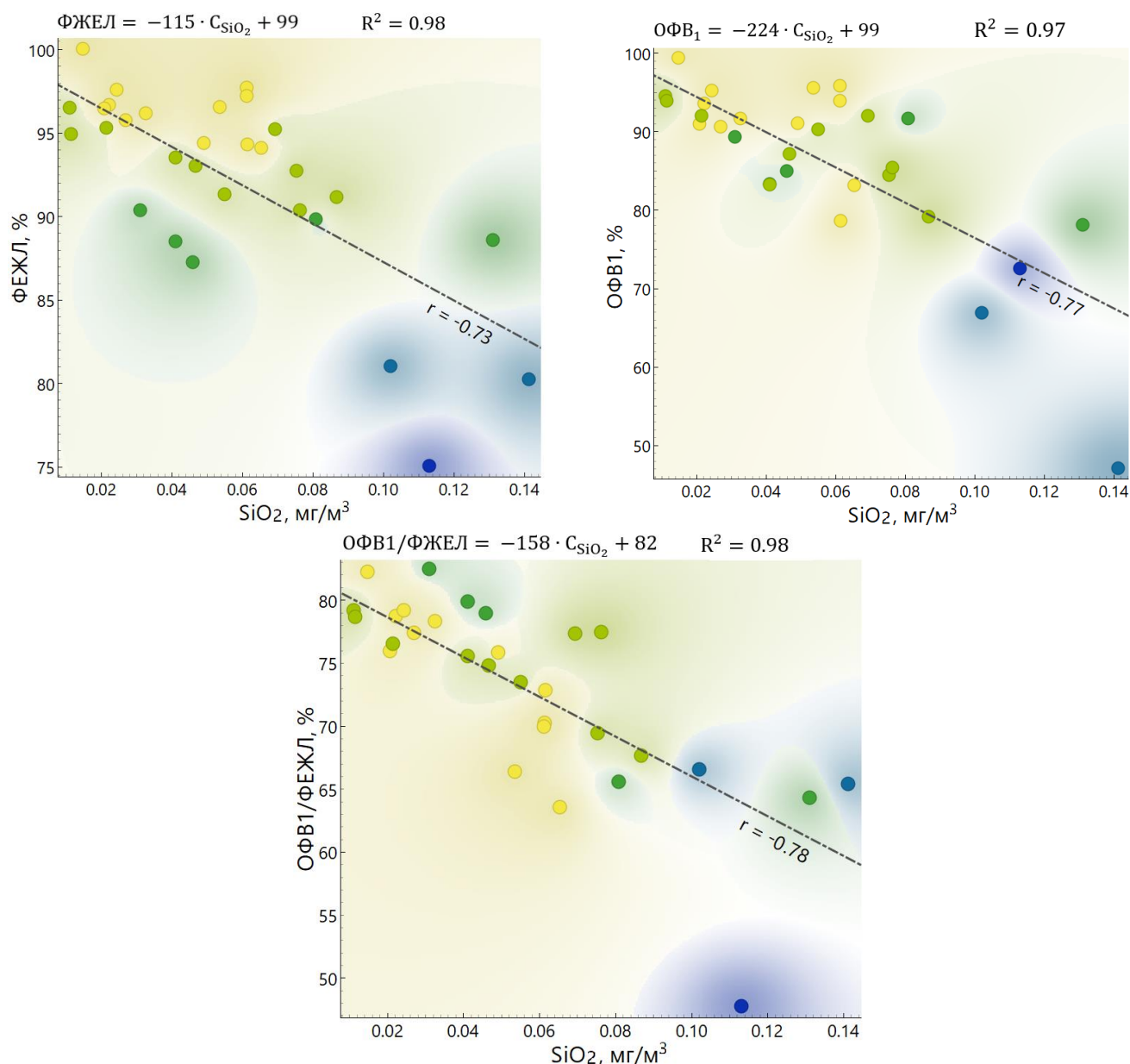


Рисунок 3.4 – Значения r_s между концентрацией SiO_2 и показателями функции дыхательной системы работников (составлено автором)

Результаты рангового корреляционного анализа Спирмена выявили статистически значимые обратные связи между концентрацией SiO_2 и показателями функции внешнего дыхания. Установлена достоверная отрицательная корреляция с ФЖЕЛ (p -value = 0,02; $r_s = -$

0,73), $ОФВ_1$ (p -value = 0,04; r_s = -0,77) и $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ (p -value = 0,03; r_s = -0,78). Наблюдаемое снижение спирометрических показателей по мере увеличения концентрации SiO_2 свидетельствует о возможном негативном влиянии данного профессионального фактора на проходимость дыхательных путей.

Шум. В таблице 3.2 представлены основные источники шумового излучения на различных этапах производственного процесса, а также их акустические характеристики. Как следует из данных таблицы, большинство агрегатов — дробилка, пресс-сушилка, линия глазурования, печь, а также участок окончательной обработки и упаковки — являются источниками преимущественно непериодического широкополосного шума, что обусловлено случайным характером вибраций и механических процессов, сопровождающих их работу. Вместе с тем такие операции, как распыление в шаровой мельнице и глазурование, вследствие цикличности технологических действий, формируют шум периодического характера. На всех рабочих местах в керамической промышленности шум носит непрерывный характер, а распределение его энергии имеет линейно-непрерывный тип, что указывает на отсутствие резких колебаний интенсивности звукового воздействия. В целом анализ данных таблицы 3.2 показывает, что на большинстве стадий производства преобладает непрерывный широкополосный шум, что подчёркивает необходимость применения эффективных шумозащитных мероприятий для снижения его воздействия на производственную среду и персонал.

Таблица 3.2 – Источники излучения шума и характеристики излучаемого шума (составлено автором)

Рабочая группа	Тип шума			Тип источника выбросов
	Форма волны	Распределение энергии	Прерывистое время	
Шаровая мельница с распылением	Периодический	Широкий	Непрерывная	Линейно-непрерывное
Глазуровка				
Дробилка	Непериодический			
Пресс-сушилка				
Линия глазурования				
Обжиговая печь				
Окончательная обработка и упаковка				

Уровень шума в керамическом производстве был определён на основании измерений, выполненных специалистом лаборатории компании Goldis с использованием цифрового шумомера класса 2 (Extech 407732, Extech Instruments, США) с диапазоном измерений 35–130

дБ(А) и точностью $\pm 1,5$ дБ. Статистическая обработка и анализ данных были выполнены автором диссертации с применением программного обеспечения IBM SPSS Statistics версии 28.0.1. Анализ уровней шума в различных рабочих группах керамического производства показал, что наибольшая акустическая нагрузка характерна для участка дробления, где средний уровень шума составил 96,5 дБ(А). В данной рабочей группе также были зафиксированы как максимальные средние значения, так и наибольший диапазон колебаний — от 69,7 до 110,5 дБ(А). Для процессов распыления в шаровой мельнице, глазуровки и пресс-сушки уровень шума находился в пределах 82–84 дБ(А) при умеренной вариабельности, что свидетельствует об относительной стабильности условий труда. В зоне печей наблюдались наиболее однородные показатели (средний уровень — 80,4 дБ(А), стандартное отклонение — 0,85), тогда как в рабочей группе окончательной обработки и упаковки, несмотря на средний уровень 82,0 дБ(А), были зарегистрированы отдельные эпизоды экстремального воздействия — до 105,5 дБ(А). В целом полученные результаты подтверждают, что наиболее критичной с точки зрения шумового риска является рабочая группа дробления, тогда как остальные участки характеризуются умеренной либо локально повышенной акустической нагрузкой (рисунок 3.5).

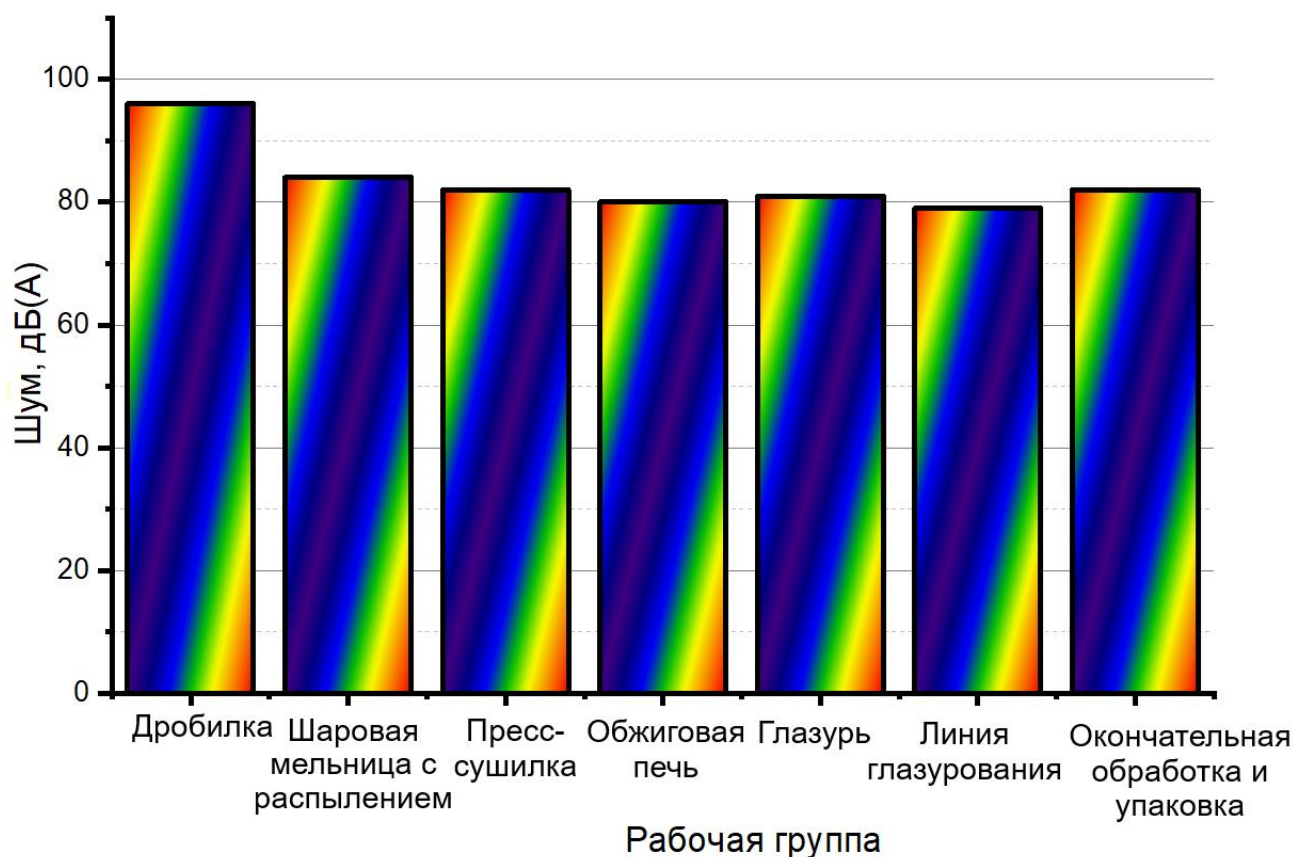


Рисунок 3.5 – Распределение уровней шума по рабочим группам в керамической промышленности (составлено автором)

В рамках материалов, полученных на предприятии керамической промышленности Goldis в ходе научно-технической стажировки, были собраны данные о нарушениях слуха у

работников, оценённые специалистом по аудиометрии. Анализ слуховой функции проводился на частотах 3000, 4000 и 6000 Гц, поскольку именно эти частоты наиболее чувствительны к воздействию промышленного шума. Для указанных частот по рабочим группам рассчитывалось среднее повышение порога слуха, при этом значимым считалось увеличение не менее чем на 10 дБ. Оценка состояния слуховой функции выполнялась путём сопоставления полученных результатов с нормативными значениями Американского национального института стандартов (American National Standards Institute, ANSI), представленными в таблице 3.3. Данная методика позволила более объективно оценить наличие и степень выраженности нарушений слуха у работников.

Таблица 3.3 – Классификация состояния слуха в рабочих группах по референсным диапазонам ANSI (составлено автором на основании [1])

Степень нарушения слуха	Среднее значение порога слышимости (дБ)
Нормальный слух	10-15
Незначительное снижение слуха	16-25
Легкое снижение слуха (I степень)	26-40
Умеренное снижение слуха (II степень)	41-55
Умеренно-тяжелое снижение слуха (III степень)	56-70
Тяжелое снижение слуха (IV степень)	71-90
Глухота	> 90

Проведенный нами сравнительный анализ аудиометрических показателей выявил характерные закономерности нарушения слуховой функции среди работников исследуемых групп. Наблюдалось статистически значимое повышение порогов слуховой чувствительности в диапазоне частот 3000-6000 Гц при относительной сохранности восприятия низких частот (500-2000 Гц). Данная аудиометрическая конфигурация, проявляющаяся в виде типичного "выгиба" (notch) на тональной пороговой аудиограмме, соответствует классическим диагностическим критериям индуцированной шумом тугоухости (Noise-Induced Hearing Loss, NIHL). Полученные результаты объективно подтвердили наличие профессионально обусловленной патологии слухового анализатора, связанной с воздействием производственного шума.

Сравнительный анализ аудиометрических данных выявил выраженную дифференциацию нарушений слуха между рабочими группами. Наибольшее снижение слуховой чувствительности наблюдалось у работников таких рабочих групп, как пресс, печь и шаровая мельница: средние пороги слуха в критическом диапазоне 3000–6000 Гц стабильно превышали 30 дБ на оба уха, что указывает на высокий риск развития нейросенсорной тугоухости. Напротив, работники групп глазуровки и линии глазурования демонстрировали минимальные изменения слуховой функции со средними показателями в пределах 20 дБ, что свидетельствует о значительно меньшем профессиональном риске развития NIHL в этих

рабочих группах. Группы упаковки и дробилки заняли промежуточное положение с умеренно выраженными нарушениями, проявляющимися преимущественно в высокочастотном диапазоне (4000–6000 Гц).

Анализ показал наличие незначительной междушной асимметрии: в группах шаровой мельницы, прессовой и упаковочной операций отмечалась тенденция к более высоким порогам слуха в левом ухе на частотах 4000–6000 Гц. Хотя выявленные различия имели статистически значимый характер, их величина не достигала клинического порога, достаточного для диагностики односторонней тугоухости. Двусторонний симметричный характер нарушения слуха в высокочастотном диапазоне является типичным признаком шумовой нейросенсорной тугоухости и подтверждает профессиональную природу выявленных изменений, не указывая на существенное влияние других патологических факторов. На рисунках 3.6а и 3.6б представлена характерная аудиометрическая картина двустороннего поражения, обусловленного воздействием производственного шума.

Анализ распределения категорий слуха у работников в различных рабочих группах на основе порогов ANSI показал, что значительная их часть находится за пределами диапазона нормального слуха (рисунок 3.5). Лишь 18,05 % участников имели нормальные средние пороги слуха для обеих ушей, тогда как у большинства работников были выявлены различные степени нарушения слуховой функции.

Наибольшую долю составили случаи лёгкой и умеренной потери слуха. Так, лёгкая потеря слуха была выявлена у 31,94 % правых ушей и 27,77 % левых, тогда как умеренная — у 26,38 % правых и 33,33 % левых. Более выраженные нарушения встречались реже, однако оставались клинически значимыми: умеренно-тяжёлая потеря слуха отмечалась у 15,27 % правых и 11,11 % левых ушей, тяжёлая — у 11,11 % правых и 2,77 % левых. Следует отметить, что глубокая потеря слуха была зарегистрирована у 11,11 % правых и 6,94 % левых ушей (рисунок 3.6).

В целом результаты указывают на двусторонний симметричный характер нарушения слуха, при этом умеренные нарушения несколько чаще отмечались в левом ухе, тогда как тяжёлые и глубокие — в правом. Такая умеренная асимметрия может быть связана с особенностями профессионального воздействия шума, например с расположением оборудования или преимущественным использованием одной руки работниками. Высокая распространённость лёгкой и умеренной потери слуха, а также наличие значимых долей тяжёлых и глубоких нарушений подчёркивают необходимость усиления программ по охране слуха, регулярного аудиометрического мониторинга и раннего вмешательства на рабочих местах (рисунок 3.7).

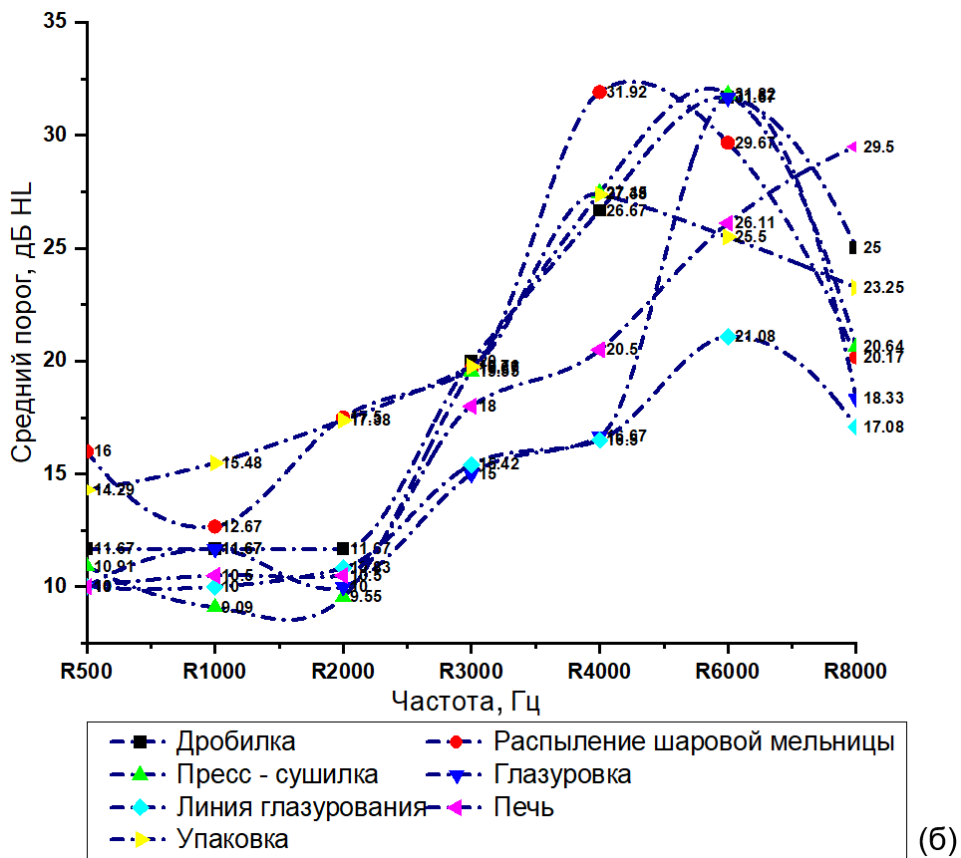
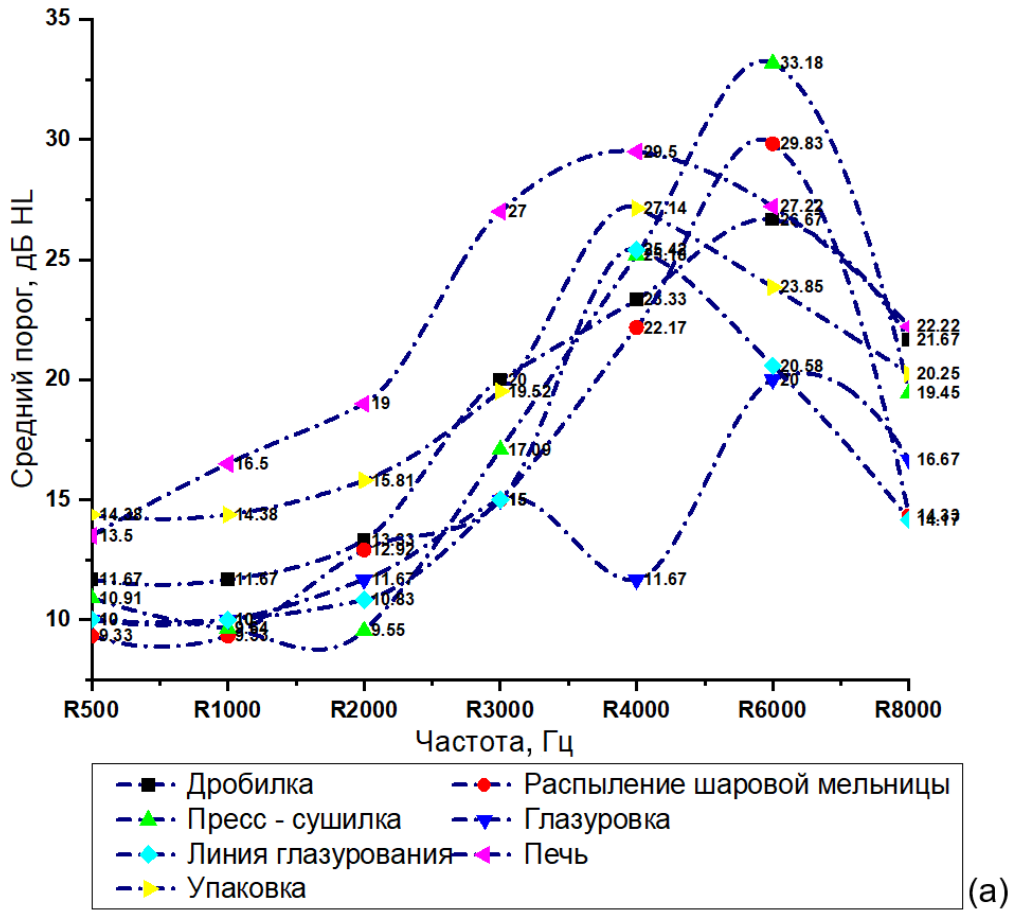


Рисунок 3.6 – Средние пороги слуха рабочих групп на частотах 500–8000 Гц для правого (а) и левого (б) уха (составлено автором)

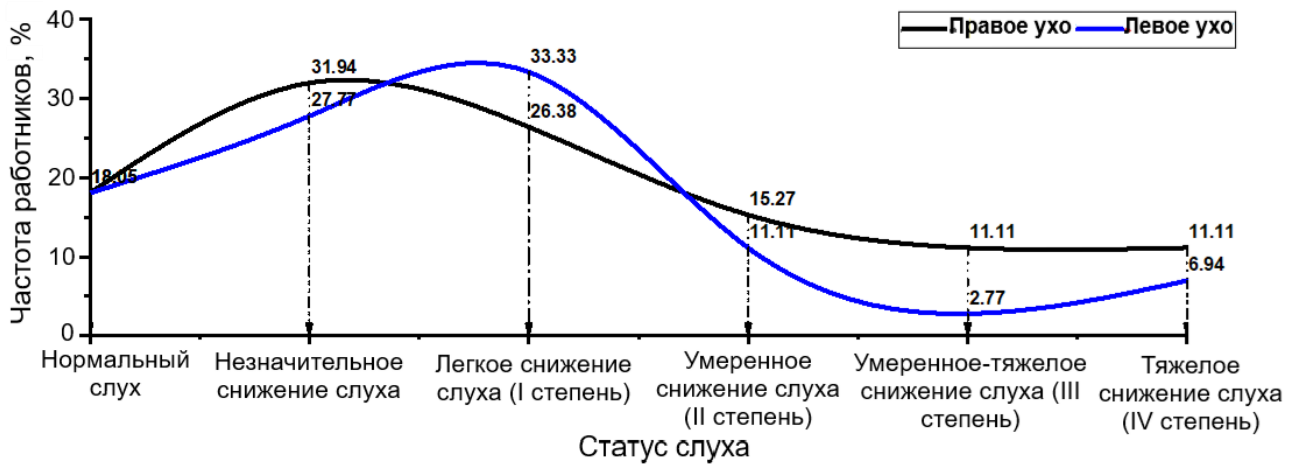


Рисунок 3.7 – Распределение категорий состояния слуха работников (составлено автором)

Результаты рангового корреляционного анализа Спирмена между уровнями шума и потерей слуха в правом и левом ухе представлены на рисунке 3.8. Анализ показал наличие значимой положительной корреляции между уровнем воздействия шума и потерей слуха в правом ухе ($p = 0,037$). В то же время связь между уровнем воздействия шума и потерей слуха в левом ухе оказалась статистически незначимой ($p = 0,164$), что может отражать индивидуальные различия в экспозиции или асимметрию профессионального воздействия.

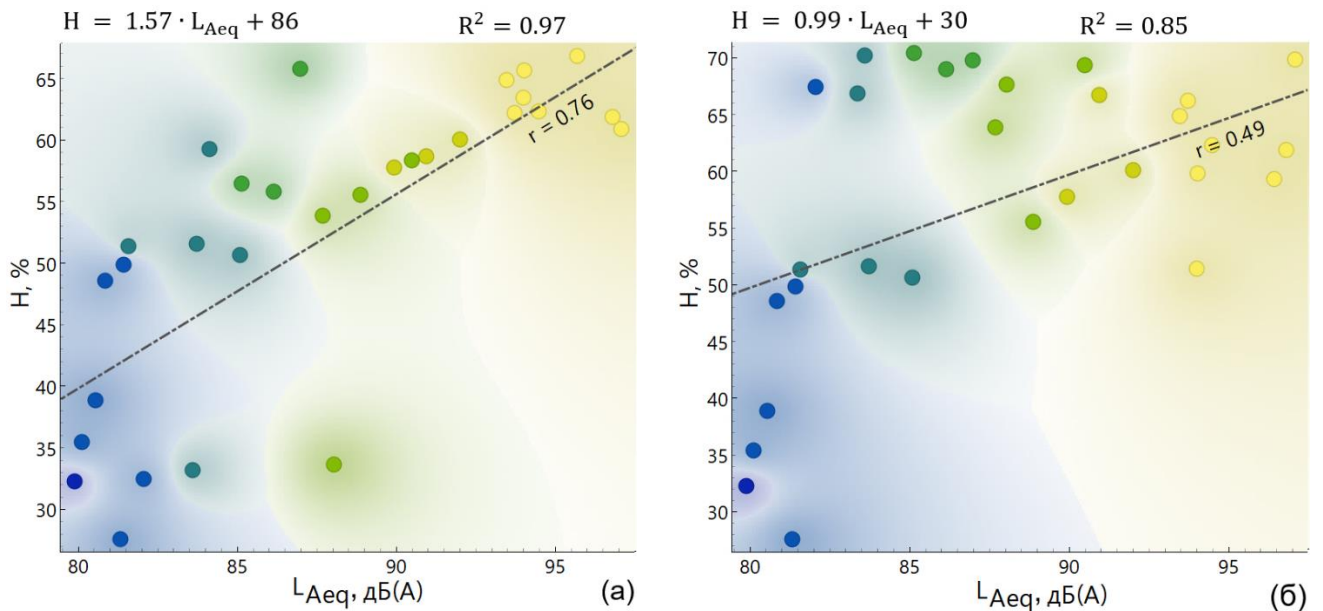


Рисунок 3.8 – Значения r_s между уровнями воздействия шума (L_{Aeq}) и потерей слуха (H) на правом (а) и левом (б) ухе (составлено автором)

Параметры освещенности (ПО). Уровни параметров освещенности были получены на основе измерений, выполненных специалистом лаборатории предприятия керамической промышленности Goldis в соответствии с международным стандартом ISO 8995 (EN 12464), регламентирующим определение освещенности в единицах люкс [11,31,125]. В условиях

керамического производства измерение вертикальной освещённости, как правило, не проводится, поскольку основные производственные операции выполняются на горизонтальных рабочих поверхностях, таких как конвейерные линии, пресс-формы, рабочие столы и зоны обработки изделий. В соответствии с требованиями международного стандарта ISO 8995 (EN 12464-1), ключевым показателем оценки условий освещения на промышленных рабочих местах является горизонтальная освещённость, обеспечивающая достаточную видимость при выполнении технологических операций и снижение зрительного напряжения работников. Измерение вертикальной освещённости рекомендуется преимущественно для задач, связанных с визуальным контролем вертикальных поверхностей, распознаванием объектов на уровне зрения или работой с дисплеями, что не является характерным для большинства рабочих групп керамической промышленности. Поэтому в рамках производственного контроля освещённости оценка ограничивается показателями горизонтальной освещённости как наиболее релевантного гигиенического параметра.

Стандарты промышленного освещения в Иране варьируются в зависимости от уровня освещённости (лк) и характера выполняемых работ — от 50 лк для складских помещений до 500 лк и более для точных производственных операций (например, сборки деталей) [31,47,125]. Значения нормативных уровней освещённости, закреплённые в действующих нормативных документах Ирана, разработаны с учётом международных рекомендаций и стандартов, в том числе международной электротехнической комиссии (International Electrotechnical Commission, IEC), и систематизированы в национальных технических документах (например, в публикации № 542). В качестве стандартных значений освещённости принимаются: 300 лк для рабочей группы распыления шаровой мельницы, глазуровки и пресс-сушилки, 500 лк для рабочих групп линии глазурования и окончательной обработки и упаковки, а также 250 лк для рабочей группы печи.

Данные по параметру освещённости были получены в ходе измерений, выполненных специалистом по охране труда предприятия керамической промышленности Goldis, и обработаны с последующим статистическим анализом с использованием программы IBM SPSS Statistics версии 28.0.1. Анализ уровня ПО показал, что наиболее неблагоприятные условия освещения формируются на рабочих местах распыления шаровой мельницы, где средний уровень освещённости составляет 33,3 лк, что свидетельствует о выраженном дефиците ПО. Существенная вариабельность ПО выявлена в зонах глазуровки (диапазон 28–1586 лк) и упаковки (13–822 лк), что указывает на значительную неравномерность распределения светового потока и нестабильность условий зрительной работы. В то же время на рабочих местах пресс-сушки (среднее значение — 106,0 лк) и печей (131,9 лк) уровни Е характеризуются большей сбалансированностью и приближенностью к нормативным

требованиям. Выявленные различия обусловлены особенностями производственной среды, накоплением производственной пыли на осветительных приборах, экранированием светового потока технологическим оборудованием, а также нерациональной и чрезмерно плотной схемой размещения светильников. При этом в отдельных зонах наблюдается их сгруппированное расположение на близком расстоянии друг от друга, тогда как в других участках источники света размещены на значительном удалении, что приводит к выраженной неравномерности освещённости рабочих зон. В целом, значения ПО в исследуемых производственных зонах варьируются от явно недостаточных до избыточных значений, что обосновывает необходимость корректировки и оптимизации системы освещения для обеспечения безопасных и эргономически обоснованных условий труда (рисунок 3.9).

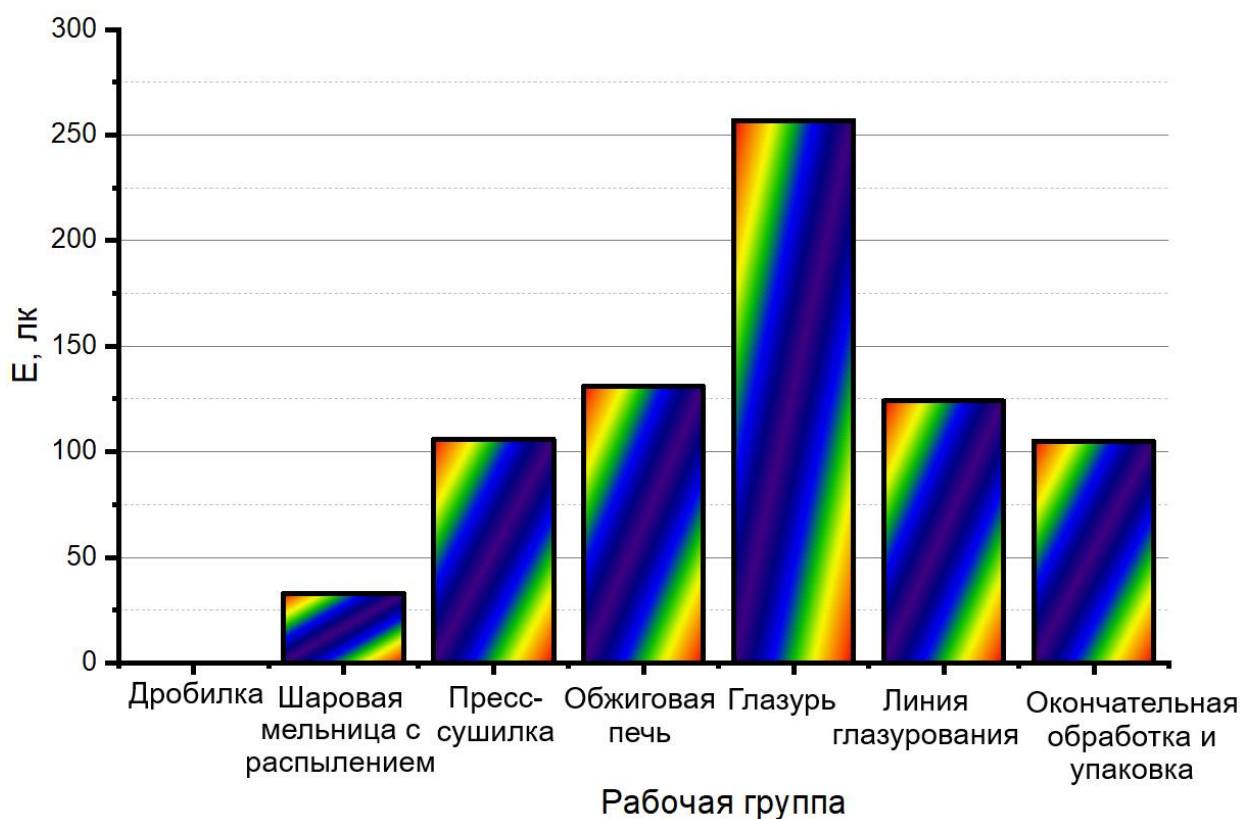


Рисунок 3.9 – Распределение уровней освещенности по рабочим группам в керамической промышленности (составлено автором)

В рамках данных, собранных в период научно-технической стажировки в компании Goldis, были получены сведения об остроте зрения работников для оценки заболеваний, связанных со зрением. Эти данные были обработаны и подвергнуты статистическому анализу автором диссертации. Анализ нормативно-правовой документации предприятия по охране труда показал, что оценка остроты зрения проводилась с использованием таблицы Снеллена в стандартизированных условиях освещённости. Для каждого обследуемого регистрировались показатели некорригированной и корригированной зрительной функции отдельно для правого и левого глаза. Определение наименьшей строки, доступной для точной идентификации,

обеспечивало объективизацию оценки зрительного восприятия. Полученные количественные данные позволили выполнить стандартизированный анализ состояния зрительной функции в соответствии с общепринятыми клиническими нормативами [81].

Анализ данных оптометрического обследования, представленных на рисунке 3.10, позволил выявить ряд закономерностей в распределении показателей остроты зрения среди различных рабочих групп керамического производства.

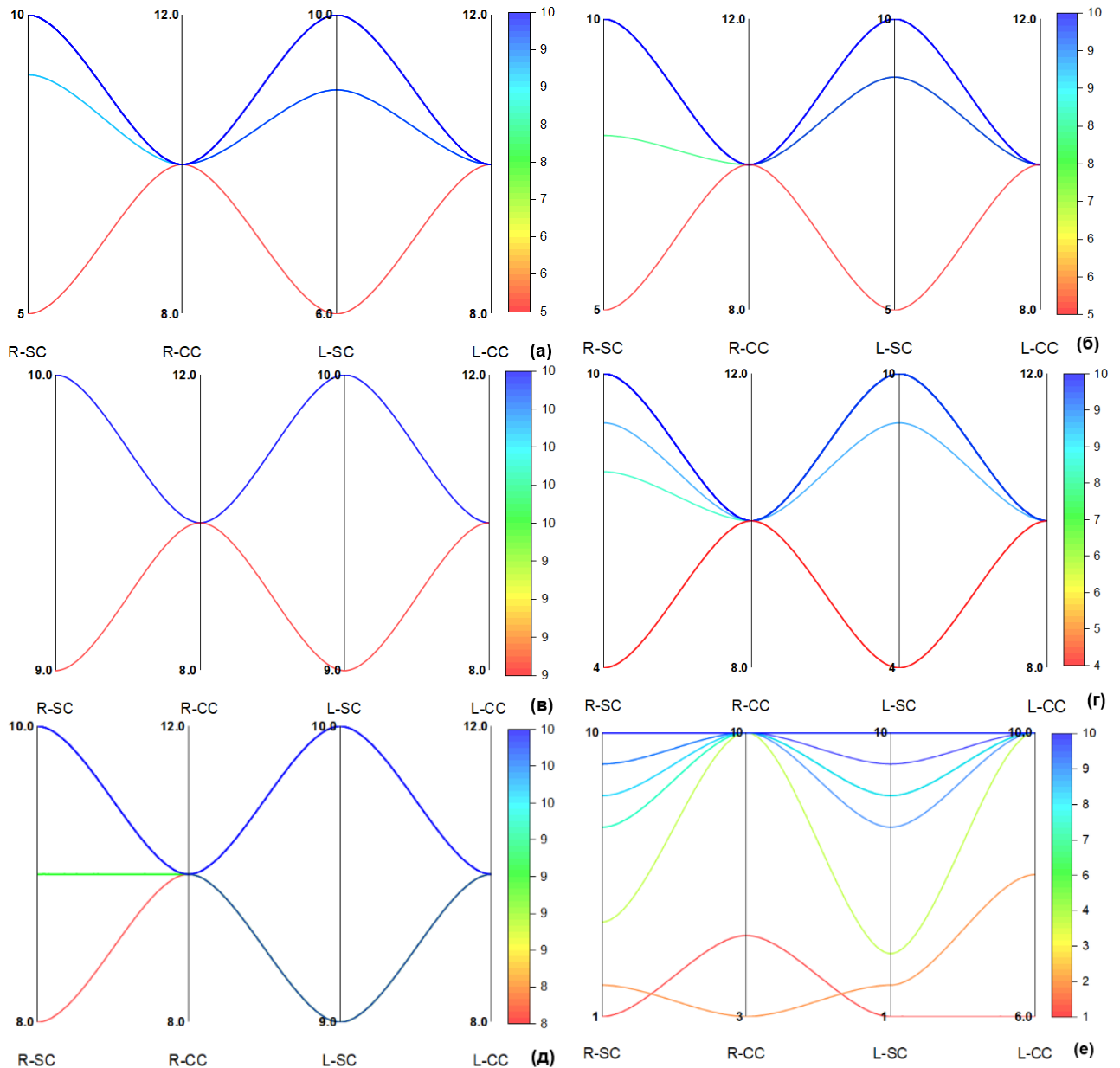


Рисунок 3.10 – Нескорректированная и скорректированная острота зрения у работников различных рабочих групп: шаровая мельница (а), прессование (б), глазуровка (в), линия глазурования (г), печь (д), окончательная обработка и упаковка (е). Обозначения: R-SC – нескорректированная острота зрения правого глаза; R-CC – скорректированная острота зрения правого глаза; L-SC – нескорректированная острота зрения левого глаза; L-CC – скорректированная острота зрения левого глаза (составлено автором)

Большинство работников рабочих групп демонстрировали нормальные либо близкие к нормальным показатели некорригированной остроты зрения. Отмечаемые незначительные снижения зрительной функции (в диапазоне 5/10–9/10) полностью корригировались с применением оптических линз, что указывает на наличие рефракционных нарушений, не обусловленных воздействием производственных факторов.

Наиболее благоприятная ситуация наблюдалась в рабочих группах глазуровка и печь, где зафиксирована максимальная доля работников с нормальной остротой зрения. В то же время рабочая группа окончательная обработка и упаковка характеризовалась значительной вариабельностью показателей: у части работников выявлялись выраженные некорригированные нарушения зрения (1/10–4/10), при этом у некоторых коррекция обеспечивала лишь частичное улучшение (1/5, 2/8), что может свидетельствовать о наличии более сложных офтальмологических патологий.

Полученные данные демонстрируют чёткую градацию распространённости зрительных нарушений: наибольшая — в рабочей группе окончательная обработка и упаковка, умеренная — в группах дробилка, распыление шаровой мельницы, пресс и линия глазурования, минимальная — среди работников рабочих групп глазуровка и печь.

Результаты рангового корреляционного анализа Спирмена между уровнем Е на рабочих местах и остротой зрения показали отсутствие статистически значимой зависимости как для правого глаза ($p = 0,5$), так и для левого глаза ($p = 0,40$). Тем не менее наблюдалась тенденция к прямой связи между показателями остроты зрения и уровнем ПО.

Параметры микроклимата (ПМ). В рамках данной диссертации с использованием показателя индекса тепловой нагрузки среды (ТНС) было выявлено и обосновано потенциально неблагоприятное воздействие параметров микроклимата на здоровье работников. Индекс тепловой нагрузки среды является специализированным показателем для оценки теплового стресса работников в горячих условиях. Он учитывает измерения температуры, влажности, скорости воздуха и теплового излучения (факторы окружающей среды), а также возраст, пол, уровень физической подготовки и интенсивность работы сотрудника, позволяя получить общий балл для определения потенциального риска теплового удара.

Измерение индекса ТНС в производственных условиях проводится в соответствии с действующими нормативными требованиями (ISO 7243) и регламентирующими документами Ирана и учитывает неоднородность рабочей среды, обусловленную наличием выраженных вертикальных температурных градиентов [115]. В таких условиях тепловая нагрузка на организм работника существенно различается на уровне головы, туловища и нижних конечностей, в связи с чем параметры, необходимые для расчёта индекса ТНС, определяются на трёх характерных высотах: в области головы, брюшной области и на уровне лодыжек.

Итоговое значение индекса рассчитывается как среднее арифметическое измеренных значений, что обеспечивает более объективную и репрезентативную оценку теплового стресса в соответствии с требованиями национального надзорного контроля. Высоты проведения измерений зависят от рабочей позы (сидя или стоя) и выбираются строго по нормативным таблицам, установленным действующими санитарно-гигиеническими регламентами [103].

На основании полученных с предприятия данных в результате статистической обработки с использованием данного индекса получены различные значения индекса ТНС для различных групп. Анализ уровня индекса ТНС показал, что наибольшие значения наблюдались у рабочих групп печь (12,99–31,66 °С) и окончательная обработка и упаковка (11,48–27,2 °С), что указывало на высокое тепловое воздействие, особенно в первой, где показатели превышали критический уровень. Группы линия глазурирования и пресс-сушилка демонстрировали умеренно повышенные значения, а дробилка, распыление шаровой мельницы и глазуровка имели более низкие показатели, хотя отдельные замеры и в этих группах требовали внимания (рисунок 3.11). Рабочие группы были ранжированы по среднему уровню ТНС в порядке убывания следующим образом: печь (25,80 °С) > пресс-сушилка (22,28 °С) > глазурирование (21,00 °С) = линия глазурирования (21,00 °С) > окончательная обработка и упаковка (20,16 °С) > распыление шаровой мельницы (18,89 °С) > дробилка (15,08 °С) (рисунок 3.11).

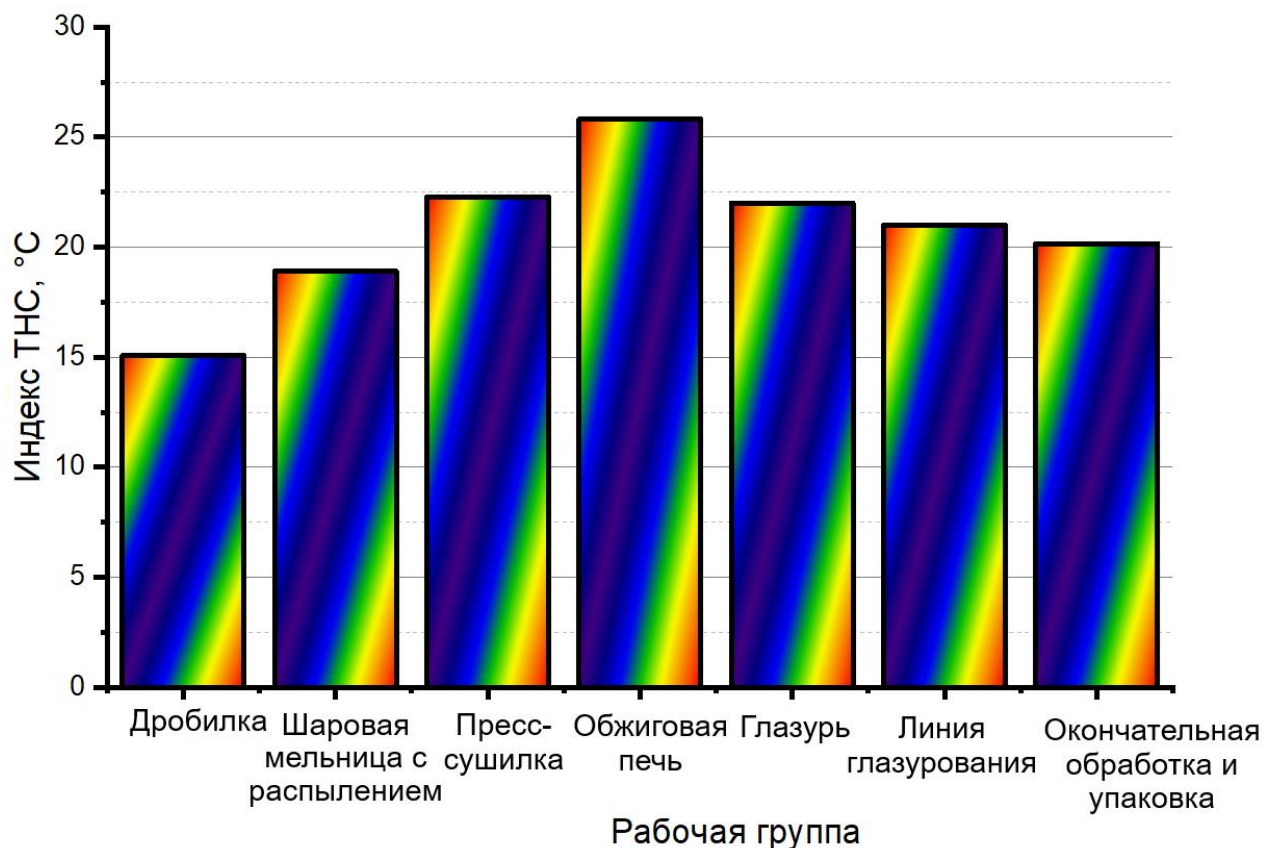


Рисунок 3.11 – Распределение уровней индекса ТНС по рабочим группам в керамической промышленности (составлено автором)

Следует отметить, что значения индекса ТНС не отражают фактическую температуру воздуха, а представляют собой интегральный показатель, учитывающий влияние влажности, теплового излучения и вентиляции. В условиях сухого климата и эффективной вентиляции производственных помещений более низкие значения ТНС могут наблюдаться даже при относительно высокой температуре воздуха.

В соответствии с действующими нормативными документами Ирана предельно допустимые значения индекса ТНС устанавливаются дифференцированно в зависимости от характера выполняемой работы от лёгкой до тяжёлой и уровня метаболической активности работников. В таблице 3.4 представлены нормативные допустимые значения индекса ТНС, регламентированные надзорными документами Ирана, с распределением по категориям тяжести труда. На основе этой таблицы определяется нормативный уровень индекса ТНС, применимый для оценки теплового стресса работников керамической промышленности с учётом специфики выполняемых ими производственных операций.

Таблица 3.4 – Допустимые значения индекса ТНС в соответствии с нормативными документами Ирана (составлено автором)

Режим работы – отдыха	Лёгкая работа	Средняя работа	Тяжёлая работа
Непрерывная работа	30	26.7	25
75% работа – 25% отдых	30.6	28	25.9
50% работа – 50% отдых	31.4	29.4	27.9
25% работа – 75% отдых	32.2	31.1	30

В данном исследовании, с учётом характера тяжёлых трудовых обязанностей работников и отнесения их деятельности к категории непрерывной работы, нормативное значение индекса ТНС для сопоставления с измеренными показателями принимается равным 25 °С.

3.2 Реализация методов оценки профессиональных рисков, соответствующих условиям труда работников керамической промышленности

В предыдущем разделе экспериментальные данные ВПФ, полученные от специалиста по охране труда компании Goldis, были обработаны и подвергнуты статистическому анализу. Далее будет показано, что обработанные данные ВПФ будут использоваться для оценки риска как по отдельным факторам, так и комплексного. На рисунке 3.12 приведены методы оценки риска по отдельным факторам, использованные в этом исследовании, для наглядного напоминания.

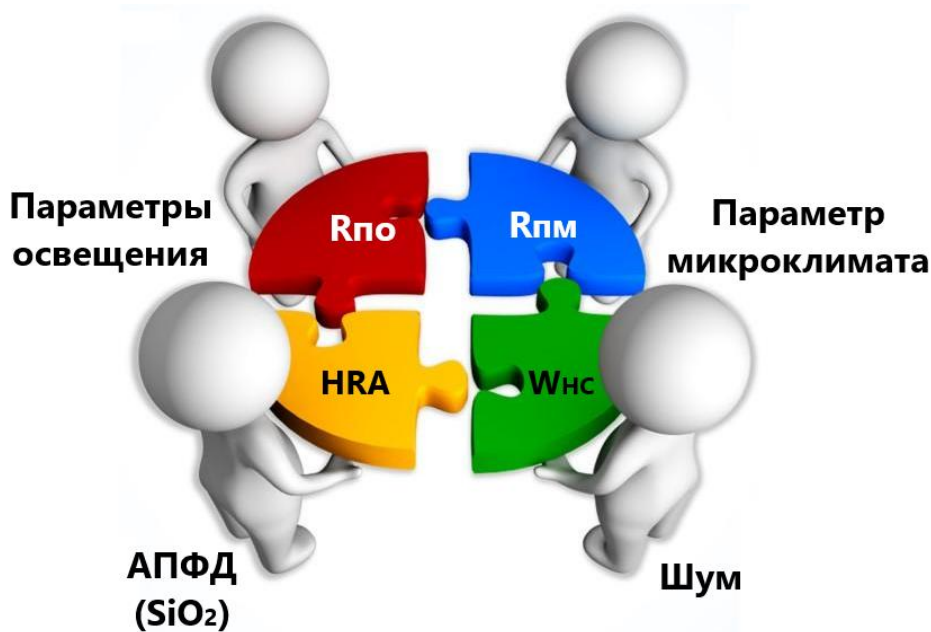


Рисунок 3.12 – Методы оценки риска по одному фактору (составлено автором)

Оценка риска для здоровья (Health Risk Assessment, HRA). Учитывая, что предыдущие разделы диссертации указано, что уровни воздействия SiO_2 на рабочие группы превышают ПДК, использование метода ERA для оценки рисков для здоровья имеет особое значение. Этот количественный метод систематически определяет риск развития бронхолегочных заболеваний, вызванных воздействием АПФД (SiO_2) у работников, и с учётом уровней воздействия и возможных последствий для здоровья предоставляет эффективный инструмент для управления рисками и принятия контрольных мер на рабочем месте. Физико-химические свойства АПФД (SiO_2), вдыхаемые каждой рабочей группой, оказывают при вдыхании негативное воздействие на дыхательную систему, а также на условия работы в керамической промышленности, где есть вероятность воздействия. Однако значения входных параметров для проведения этого метода, основанные на данных, собранных у работников керамической отрасли, приведены в таблице 3.5.

Бронхолегочный риск, согласно нормативно-технической литературе, подразделяется на канцерогенный и неканцерогенный. Результаты оценки риска воздействия АПФД (SiO_2) представлены с использованием двух показателей — пожизненного онкологического риска (Lifetime Cancer Risk, LCR) и коэффициента опасности (Hazard Quotient, HQ). После обработки данных, предоставленных компанией Goldis, автором диссертационной работы данные подверглись математическому анализу. Здесь мы представляем результаты оценки рисков как в детерминированной, так и в вероятностной формах:

Таблица 3.5 – Переменные факторы риска, связанные с канцерогенезом и неканцерогенезом рисков (составлено автором)

Параметр		Символ	Единицы измерения	Значение / распределение	Основание / источник данных
Концентрация АПФД (SiO ₂)	Concentration	C	мг/м ³	-	Экспериментальные данные (предоставленные компанией)
Частота дыхания	Breathing rate	BR	м ³ /ч	0,6	По нормам США (2011) [24]
Частота воздействия в день	Exposure time during the day	DS	ч/день	8	Время работы в одну смену
Частота воздействия	Frequency of exposure	EF	дней/год	289	*Анкетирование
Частота воздействия в годах	Years of exposure	ED	лет	30	Анкетирование
Средняя продолжительность жизни	Average lifetime	AT	дни	Для канцерогенного эффекта: 70 лет × 365 дней/год = 25 550	По нормам США (2011) [124]
				Для неканцерогенного эффекта: 70 лет × 365 дней/год × 24 ч = 613 200	
Средний вес человека	Average person's weight	BW	кг	70	Экспериментальные данные (предоставленные компанией)
Диапазон концентраций, вызывающих силикоз	Known concentration range of silica that leads to silicosis	CSF	(мг/кг·день) ⁻¹	1,85×10 ⁻⁵ , 6,8×10 ⁻⁷	[124]
Допустимый предел	Reference Concentration	RfC	мг/м ³	0,025	Американская ассоциация государственных промышленных гигиенистов (2010) [124]

*Анкетирование проводилось автором диссертации в период производственной практики, а дополнительные данные были предоставлены службой охраны труда предприятия.

Оценка риска детерминированным методом: Анализ полученных данных показывает, что значения LCR для различных рабочих групп керамической промышленности варьируют в пределах от $8,07 \times 10^{-9}$ до $5,67 \times 10^{-8}$, что соответствует крайне низкой вероятности возникновения

онкологических заболеваний вследствие профессионального воздействия. Наибольший канцерогенный риск наблюдается у группы дробилки ($5,67 \times 10^{-8}$), что связано с высокой концентрацией АПФД (SiO_2) и ингаляционным воздействием на работников. Минимальные значения риска зафиксированы у группы линии глазурирования ($8,07 \times 10^{-9}$), где условия труда относительно благоприятнее.

Результаты оценки индекса HQ для рабочих групп в керамической промышленности показали, что значения HQ находятся в диапазоне от 0,05 до 0,35 и не превышают пороговое значение 1, что свидетельствует о допустимом уровне воздействия АПФД (SiO_2). Вместе с тем, более высокие значения HQ характерны для групп дробилки ($\text{HQ} = 0,36$) и шаровой мельницы с распылением ($\text{HQ} = 0,20$), что свидетельствует о повышенной вероятности негативного воздействия SiO_2 на органы дыхания и общее состояние здоровья работников.

Результаты вероятностной оценки риска методом Монте-Карло представлены на рисунках 3.13, 3.14 и 3.15. Анализ канцерогенного риска при $\text{CSF} 1,85 \times 10^{-5}$, представленный на рисунке 3.13, демонстрирует статистически приемлемый уровень общего риска, однако выявляет значительную вариабельность воздействия.

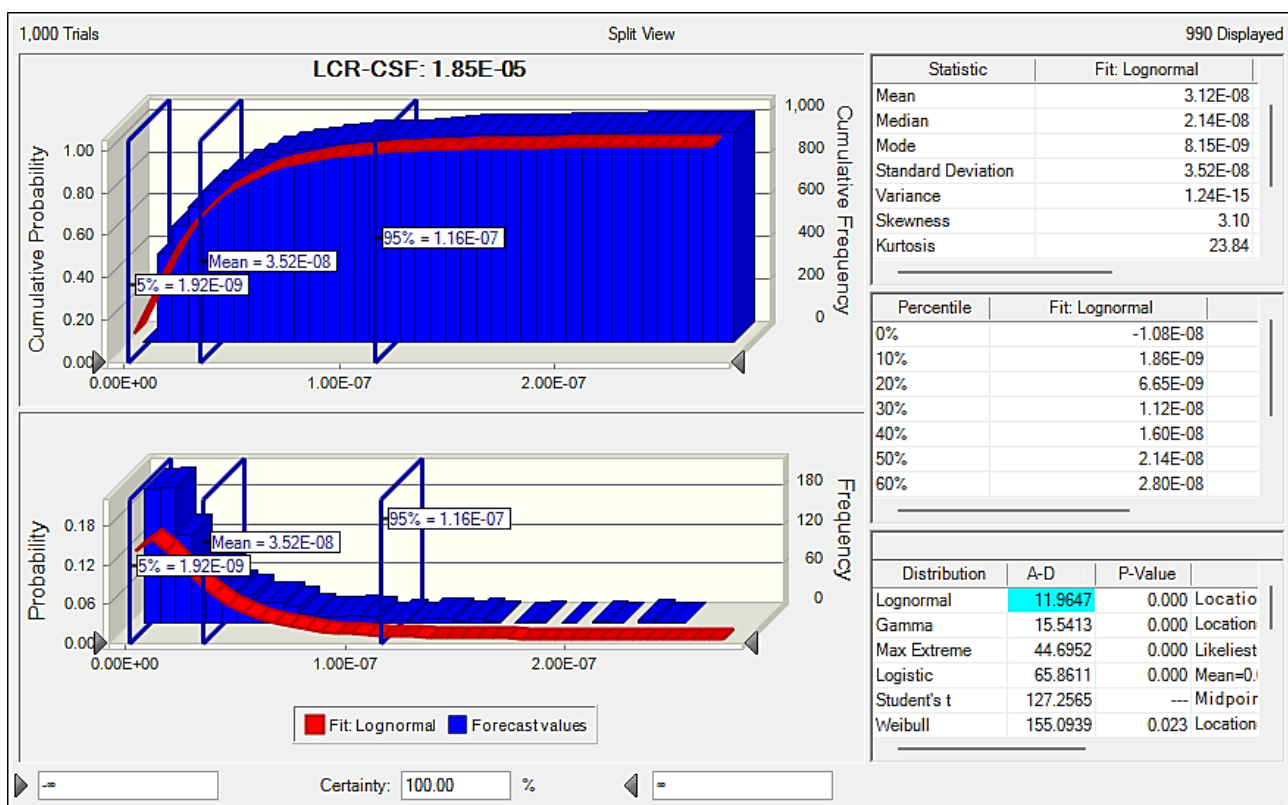


Рисунок 3.13 – Визуализированный результат в формате рабочего окна Oracle Crystal Ball, показывающий риск развития бронхолегочных заболеваний при $\text{CSF} 1,85 \times 10^{-5}$ (составлено автором)

Среднее значение риска составило $3,19 \times 10^{-8}$, а медианное — $2,07 \times 10^{-8}$, что существенно ниже установленного порогового уровня 10^{-6} . Вместе с тем стандартное отклонение ($3,48 \times 10^{-8}$)

и коэффициент вариации ($1,21 \times 10^{-15}$) указывают на неравномерное распределение риска между различными рабочими группами. Положительная асимметрия (2,13) и высокий эксцесс (26,44) свидетельствуют о наличии ограниченного числа сценариев с повышенной экспозицией, при которых максимальное значение риска достигает $5,00 \times 10^{-7}$.

При оценке индекса LCR при $CSF = 6,80 \times 10^{-6}$ среднее значение риска составило $1,09 \times 10^{-8}$, а медианное — $5,24 \times 10^{-9}$, что также значительно ниже допустимого порогового значения 10^{-6} (рисунок 3.14). Однако высокая положительная асимметрия (9,18) и эксцесс (141,15) указывают на резко смещённое распределение с отдельными экстремальными выбросами, где максимальное значение риска достигает $3,79 \times 10^{-7}$. Стандартное отклонение ($1,98 \times 10^{-8}$) и коэффициент вариации (1,81) подтверждают значительный разброс данных. В целом полученные результаты свидетельствуют о статистически приемлемом уровне канцерогенного риска, однако выраженная асимметрия распределения подчёркивает необходимость целенаправленного контроля рабочих мест с потенциально высокой экспозицией АПФД (SiO_2).

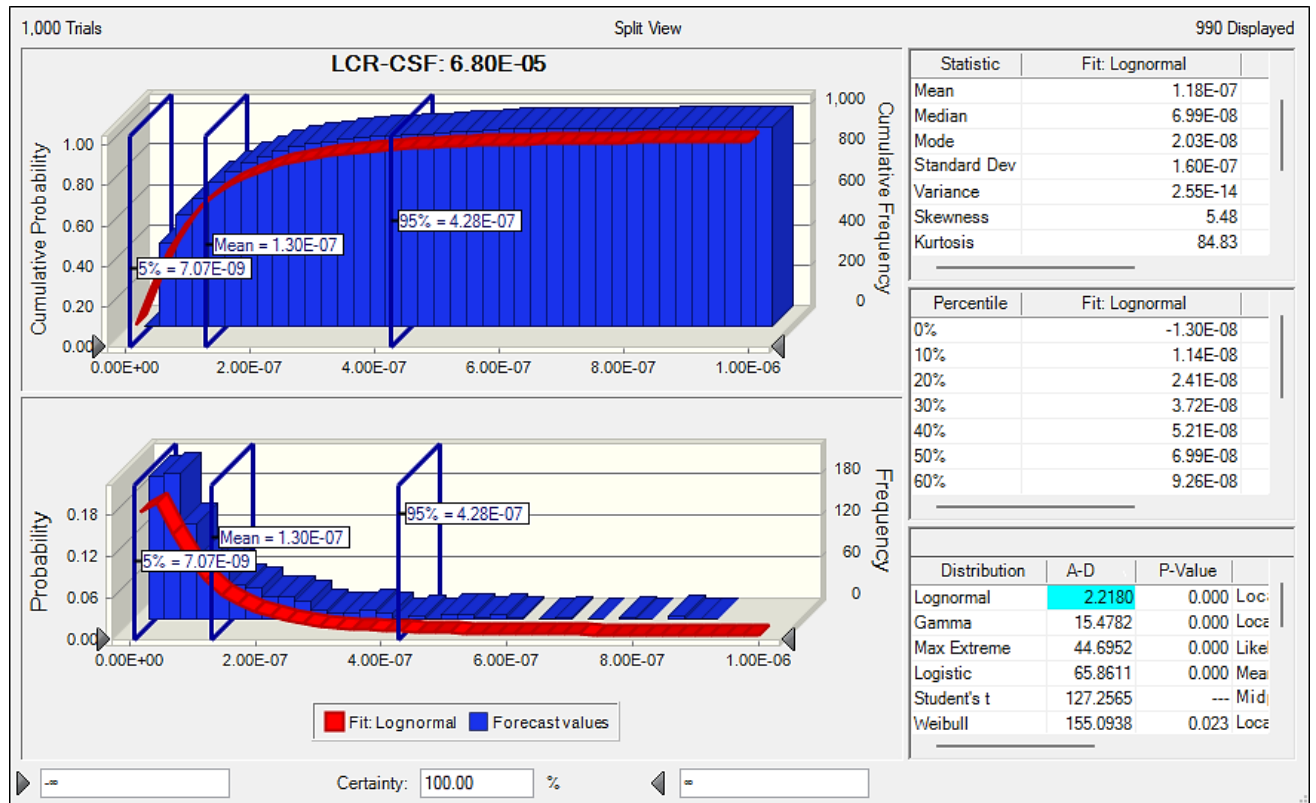


Рисунок 3.14 – Визуализированный результат в формате рабочего окна Oracle Crystal Ball, показывающий риск развития бронхолёгочных заболеваний при CSF равном $6,80 \times 10^{-5}$ (составлено автором)

Среднее значение HQ составляет 0,32, медианное — 0,17, что не превышает допустимого порога $HQ = 1$. Однако распределение характеризуется высокой вариабельностью (стандартное отклонение 0,50; коэффициент вариации 1,58) и выраженной положительной асимметрией (5,54) с высоким эксцессом (46,98).

Максимальное значение HQ достигает 5,75, а 95-й перцентиль превышает пороговое значение ($HQ_{95} = 1,07$), что говорит о потенциально неприемлемом неканцерогенном риске для части работающих. Полученные результаты обосновывают необходимость внедрения дополнительных мероприятий по снижению АПФД (SiO_2) (рисунок 3.15).

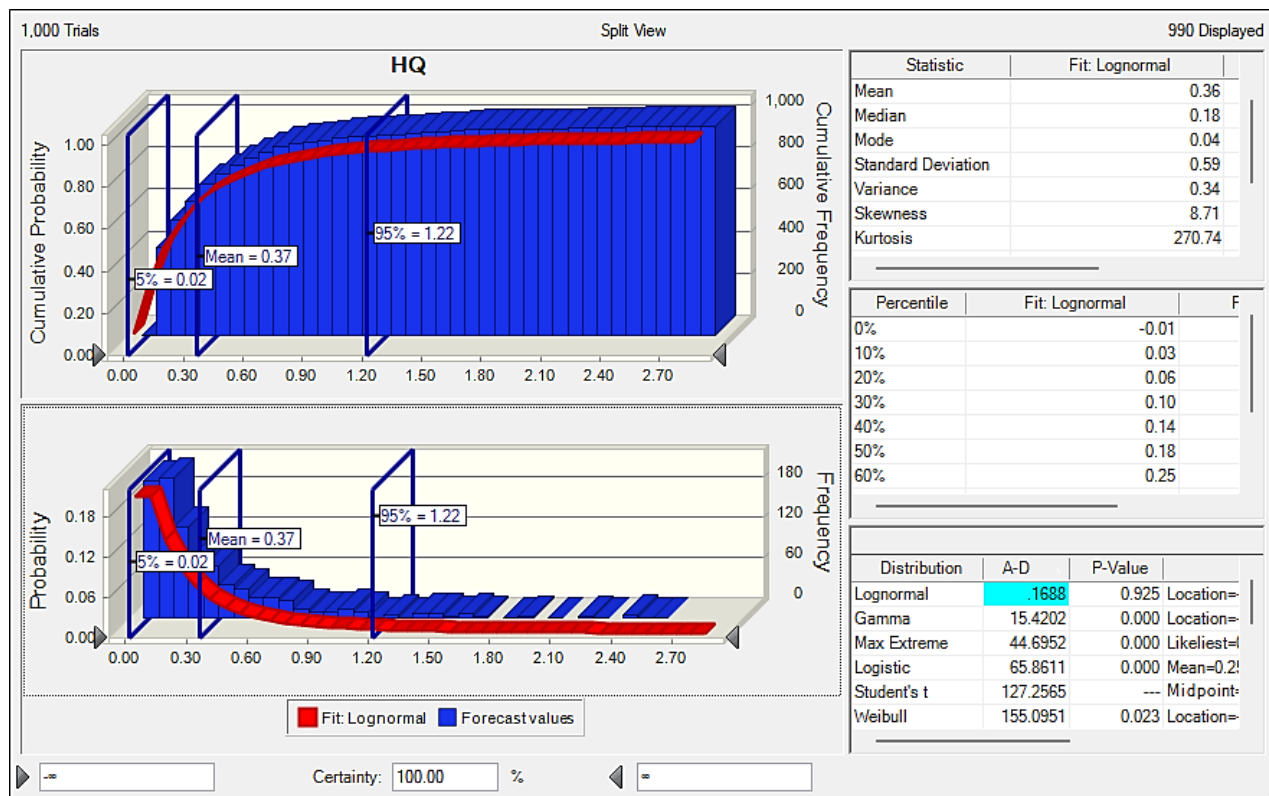


Рисунок 3.15 – Оценочный риск развития бронхолегочных заболеваний по индексу HQ
(составлено автором)

Индекс непрерывного шума (Workplace Hum Continuous noise index — W_{HC}). Применение индекса непрерывного шума W_{HC} для оценки шумового воздействия является обоснованным и целесообразным, поскольку данный метод позволяет комплексно учитывать основные характеристики шумовой нагрузки в производственной среде, включая уровень шума, продолжительность воздействия и пространственное распределение источников. В отличие от традиционных подходов, основанных на точечных измерениях, индекс W_{HC} интегрирует эквивалентные уровни звукового давления по всей площади рабочего пространства, что обеспечивает более точную и репрезентативную оценку условий труда работников.

Использование коэффициента k (формула (41)), зависящего от эквивалентного уровня шума L_{Aeq} , позволяет адекватно оценить степень опасности непрерывного шума в диапазоне значений, характерных для промышленных условий, включая уровни, превышающие допустимые санитарные нормы. Учет фактической продолжительности воздействия шума в течение рабочей смены обеспечивает более точное отражение реальной акустической нагрузки на работников.

С практической точки зрения индекс $W_{\text{НС}}$ особенно целесообразен для применения в керамической промышленности, где такие технологические процессы, как дробление сырья, помол, прессование и обжиг, сопровождаются постоянным и пространственно неоднородным шумовым фоном. Использование метода интерполяции на основе обратного взвешивания расстояний (Inverse Distance Weighting, IDW) позволяет строить карты шумовых контуров и выявлять зоны повышенного риска. Данный подход особенно важен для производственных помещений с большим количеством стационарного оборудования. Таким образом, индекс $W_{\text{НС}}$ обеспечивает объективную оценку степени воздействия непрерывного шума и может эффективно применяться для выявления опасных зон, оптимизации размещения оборудования и разработки мероприятий по снижению шумовой нагрузки в керамической отрасли. В таблице 3.6 представлены параметры расчёта индекса непрерывного шума $W_{\text{НС}}$ в керамической отрасли. Следует отметить, что данная таблица составлена на основе данных, полученных от компании Goldis Ceramics, и их обработки в программном обеспечении географической информационной системы (GIS).

Таблица 3.6 — Значения составляющих параметров индекса $W_{\text{НС}}$ (составлено автором)

Рабочее место	*Класс (дБ(А))	Обозначение области между контурами	S_{0i} (м ²)	S_0 (м ²)	$K_{65-85\text{dB}}$ (А)
Дробилка	84-85	+84	1,41	514,72	0,93
	85-94	+85	513,30		1
Шаровая мельница с распылением	79,4-80	+87	12,37	1082,39	0,29
	80-85	+80	512,50		0,93
	85-92,5	+85	557,52		1
Пресс-сушилка	74,6-80	+74,6	396,50	643,05	0,091
	80-85	+80	245,21		0,93
	85-85,9	+85	1,33		1
Глазурь	76,8-80	+76,8	144,20	861,11	0,15
	80-85	+80	657,48		0,93
	85-87	+85	59,43		1
Линия глазурования	72,7-80	+72,7	842,31	1032,23	0,058
	80-82,5	+80	189,92		0,93
Обжиговая печь	76-80	+76	408,80	817,49	0,12
	80-82	+80	408,69		0,93
Окончательная обработка и упаковка	76,5-80	+76,5	61,15	951,26	0,14
	80-85	+80	507,14		0,93
	85-88,8	+85	382,97		1

*Классы шума в зависимости от их воздействия на здоровье работников: класс 1 — без воздействия; класс 2 — с незначительным воздействием; класс 3 — вредное воздействие.

Результаты индекса $W_{\text{НС}}$ для рабочих групп представлены на рисунке 3.16. Прогнозируемый диапазон значений данного индекса для керамической промышленности составляет от 0,056 до 0,99. Среднее значение индекса $W_{\text{НС}}$ для предприятий керамической отрасли составляет 0,63, что свидетельствует о негативном воздействии постоянного шума на

работников, обусловленном одновременной работой множества технологических установок. Значения индекса $W_{НС}$ для различных рабочих групп располагаются в убывающем порядке следующим образом: дробилка (0,99) > шаровая мельница с распылением (0,95) > окончательная обработка и упаковка (0,90) > Глазурь (0,8) > обжиговая печь (0,52) > пресс-сушилка (0,41) > линия глазурирования (0,21). При этом, когда значение индекса $W_{НС}$ приближается к 1, это указывает на неблагоприятные условия труда для работников и необходимость обязательного использования средств индивидуальной защиты органов слуха (СИЗ). Таким образом, прогнозируемые значения индекса для рабочих групп дробилка, шаровая мельница с распылением и окончательная обработка и упаковка находятся очень близко к 1, что подтверждает, что условия труда в этих рабочих группах нельзя считать комфортными и что риск профессиональной потери слуха в них значительно выше.

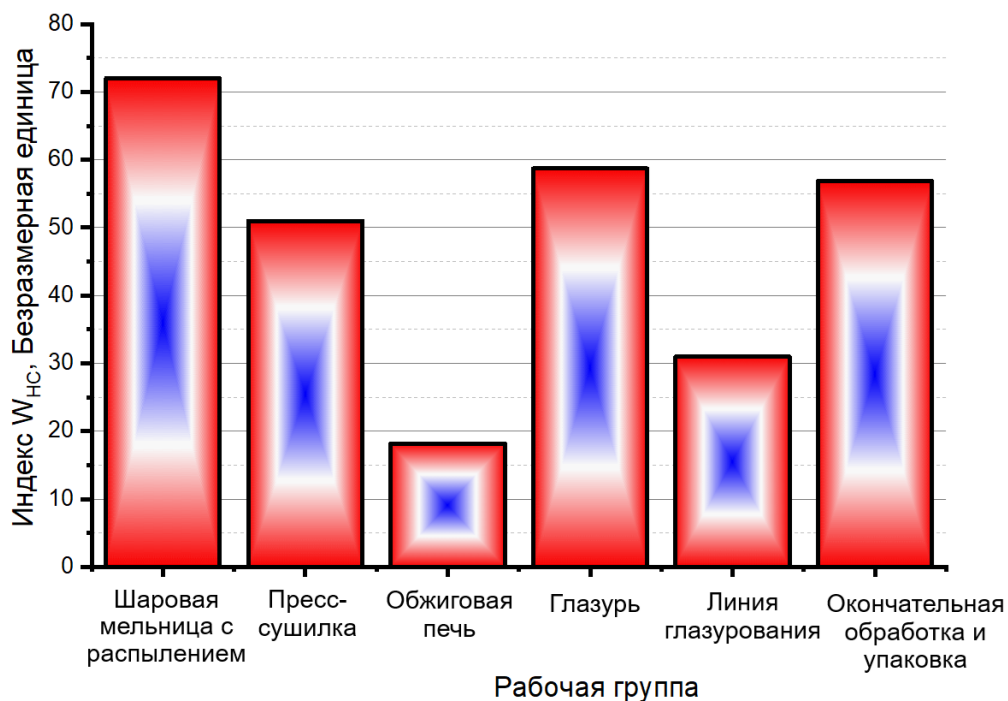


Рисунок 3.16 – Количественная оценка рисков воздействия шума в рабочих группах с использованием Индекса $W_{НС}$ (составлено автором)

Согласно полученным данным по расчёту индекса риска по влиянию шума, наименьший шум наблюдается на линии глазурирования, наибольший шум наблюдается на дробилке.

Индекс риска параметров микроклимата (Индекс $R_{пм}$). Индекс $R_{пм}$ является обоснованным и практически применимым инструментом для оценки теплового стресса в керамической промышленности, где технологические процессы сопровождаются интенсивным тепловыделением, прежде всего за счёт работы высокотемпературных печей обжига. Наличие лучистого тепла, недостаточного воздухообмена и повышенной температуры воздуха в рассматриваемых рабочих группах создаёт условия, при которых работники подвергаются

комбинированному воздействию неблагоприятных микроклиматических факторов, что требует использования интегральных показателей риска, а не оценки отдельных параметров среды.

Структура индекса $R_{\text{пм}}$ в полной мере отражает специфику условий труда в керамическом производстве, учитывает как физиологические, так и производственные факторы тепловой среды. Включение нормализованного индекса ТНС (f_w) позволяет количественно оценить влияние температурно-влажностных условий, характерных для рабочих зон вблизи печей и сушильных установок. Нормализация показателя в пределах фактически измеренного диапазона температур обеспечивает чувствительность модели к реальным различиям микроклимата между различными рабочими местами.

Важным преимуществом индекса $R_{\text{пм}}$ является учёт продолжительности теплового воздействия (f_t) и метаболической интенсивности труда (f_M), что особенно важно для керамической отрасли, где в течение рабочей смены выполняются операции различной физической тяжести — от обслуживания оборудования до ручного перемещения сырья и готовой продукции. Такой подход позволяет более дифференцированно оценивать риск теплового стресса с учётом не только параметров окружающей среды, но и характера выполняемой работы.

Дополнительную практическую значимость при расчёте индекса $R_{\text{пм}}$ обеспечивает учёт теплоизоляционных свойств спецодежды (f_c), степени акклиматизации работников к жаре (A) и уровня гидратации организма (f_H). В условиях керамического производства, где нередко используется спецодежда, не соответствующая требуемому уровню защиты от теплового воздействия, а потери жидкости при работе вблизи источников тепла остаются значительными, указанные факторы оказывают существенное влияние на тепловой баланс организма. Интегральный показатель $R_{\text{пм}}$, принимающий значения от 0 до 100, позволяет классифицировать условия труда по уровням риска и непосредственно увязывать результаты оценки с конкретными профилактическими и корректирующими мероприятиями. Это делает данный индекс эффективным инструментом управления охраной труда и промышленной безопасностью в керамической промышленности. Результаты оценки индекса $R_{\text{пм}}$ представлены на рисунке 3.17.

На основании полученных значений $R_{\text{пм}}$ выявлены выраженные различия в уровне тепловой нагрузки между рабочими группами. Расчёты выполнены по данным предприятия Goldis. Минимальное значение зафиксировано в рабочей группе дробления ($R_{\text{пм}} = 34,5 \%$), что соответствует среднему уровню риска и указывает на относительно благоприятные микроклиматические условия. В процессах шаровой мельницы с распылением (48,75 %), глазурования (56,7 %), на линии глазурования (56,7 %), а также при окончательной обработке и упаковке (53,25 %) отмечены повышенные значения индекса, свидетельствующие о высоком

уровне тепловой нагрузки и необходимости проведения профилактических мероприятий, включая регламентированные перерывы, обеспечение гидратации и усиление вентиляции. В рабочей группе пресс-сушки (61,5 %) риск классифицируется как очень высокий, что требует внедрения инженерных и организационных мер по снижению температуры и сокращению времени воздействия. Наиболее неблагоприятные условия выявлены в зоне печей, где значение $R_{\text{пм}}$ достигло 72 %, что соответствует чрезвычайно высокому уровню риска и требует первоочередного внимания при планировании мероприятий по защите работников. В целом результаты расчёта индекса $R_{\text{пм}}$ подтверждают наличие микроклиматического стресса, связанного с особенностями технологического процесса и близостью к источникам тепловыделения оборудования.

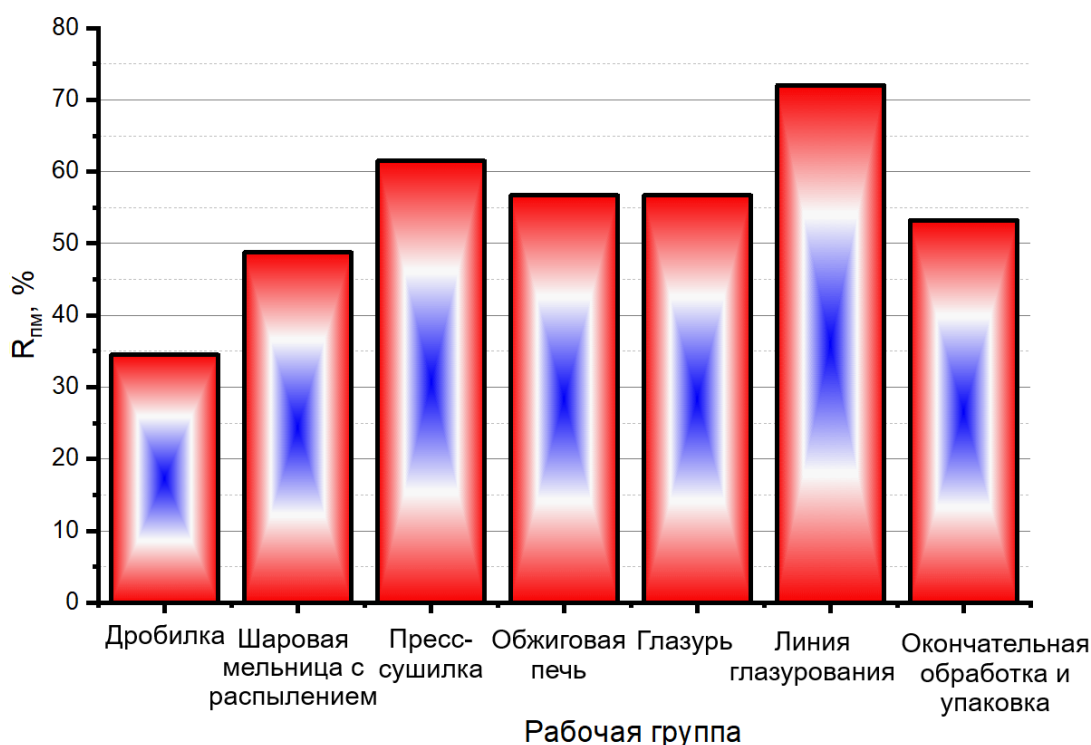


Рисунок 3.17 – Количественная оценка риска теплового воздействия в рабочих группах (составлено автором)

Индекс $R_{\text{по}}$. Предложенный индекс $R_{\text{по}}$ позволяет комплексно учитывать ключевые светотехнические параметры, имеющие особое значение для керамического производства. Средняя освещённость (E_{avg}) и коэффициент равномерности (U) отражают базовые условия видимости на рабочих поверхностях, которые в цехах нередко ухудшаются вследствие запылённости, загрязнения светильников и неравномерного размещения источников света. Учёт показателя ослеплённости (UGR) особенно важен для керамических предприятий, где используются металлические и глазурованные поверхности с высокой отражающей способностью, способные вызывать выраженные блики и зрительный дискомфорт.

Существенным преимуществом индекса $R_{по}$ является включение показателей цветопередачи (CRI) и коррелированной цветовой температуры (CCT).

Применение индекса $R_{по}$ в керамической промышленности является целесообразным благодаря его комплексному характеру, соответствию международным и национальным нормам освещённости и ориентации на реальные зрительные задачи работников. Использование данного показателя обеспечивает объективную оценку световой среды, способствует снижению зрительного дискомфорта, повышению производительности труда и качества продукции, а также служит эффективным инструментом управления профессиональными рисками в системе охраны труда.

Исходные данные для расчёта индекса $R_{по}$ были получены в керамической компании Goldis и обработаны с помощью программного обеспечения Microsoft Visio. Расчётные значения индекса $R_{по}$ на рабочих местах представлены на рисунке 3.18.

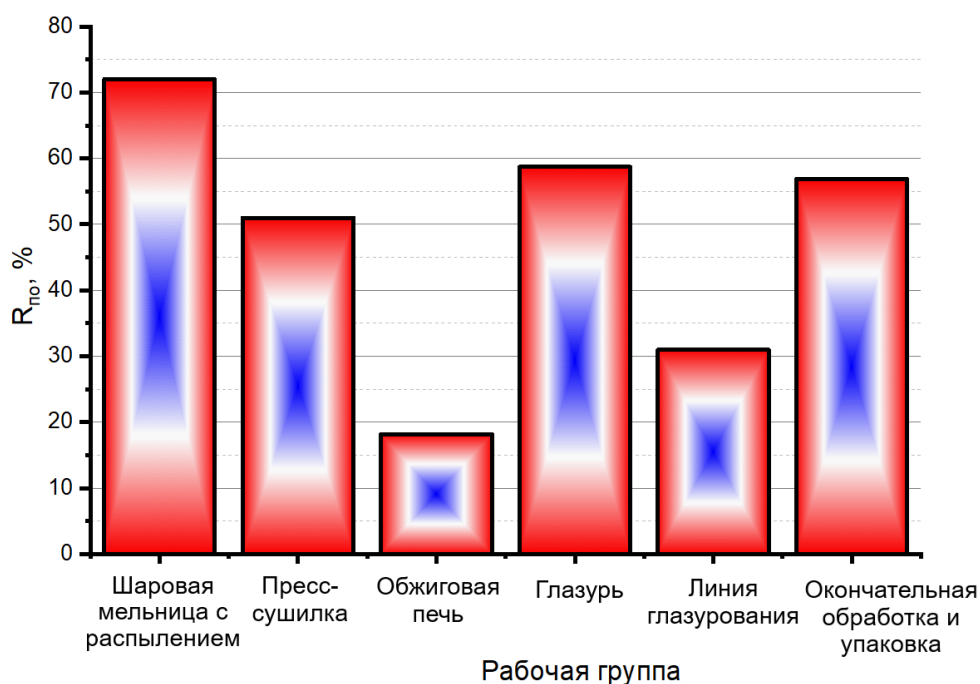


Рисунок 3.18 – Оценочные значения риска недостаточного освещения на рабочих местах (составлено автором)

На основании полученных значений показателя риска недостаточной освещённости можно отметить различия в условиях световой среды на различных рабочих местах. Наиболее высокий уровень риска зафиксирован на участке шаровой мельницы с распылением ($R_{по} = 72\%$), что свидетельствует о неблагоприятных условиях освещения, требующих немедленной корректировки. Повышенные значения риска также наблюдаются на участках пресс-сушилки ($R_{по} = 51\%$), линии глазурирования ($R_{по} = 58,7\%$) и окончательной обработки и упаковки ($R_{по} = 56,9\%$), где отмечается средний и высокий уровни зрительного дискомфорта, что указывает на необходимость оптимизации распределения и интенсивности света. Рабочие группы обжиговой

печи ($R_{\text{по}} = 31\%$) и глазурования ($R_{\text{по}} = 18,2\%$) характеризуются низким и очень низким уровнем риска соответственно, что говорит о достаточной освещённости и благоприятных зрительных условиях. В целом результаты свидетельствуют о неравномерности световой среды между зонами производственного процесса и подтверждают необходимость проведения мероприятий по выравниванию уровня освещённости и повышению её эргономического качества.

Результаты ранжирования рабочих групп на основе однофакторных показателей, представленные в предыдущих разделах, приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Ранжирование рабочих групп по одному фактору (составлено автором)

Рабочая группа	$W_{\text{НС}}$	$R_{\text{ПМ}}$	$R_{\text{по}}$
Дробилка	1	6	7
Шаровая мельница с распылением	2	5	1
Пресс-сушилка	6	2	4
Обжиговая печь	7	1	5
Глазурования	4	3	6
Линии глазурования	5	3	2
Окончательная обработка и упаковка	3	4	3

3.3 Обоснование применения комплексной оценки профессиональных рисков (Comprehensive Risk Assessment, CRA) применительно к условиям керамической промышленности Ирана

Как уже отмечалось ранее, ВПФ обладают синергетическим эффектом, то есть наличие одного фактора усиливает негативное влияние другого на возникновение и развитие профессиональных заболеваний. Индивидуальные индексы риска HRA, $W_{\text{НС}}$, $R_{\text{по}}$, $R_{\text{ПМ}}$, которые были ранее рассчитаны для ВПФ в настоящей диссертационной работе в керамической промышленности (шум, ПМ, АПФД (SiO_2) и ПО), способны отражать интенсивность воздействия лишь одного отдельно взятого фактора с учётом существующего уровня экспозиции. Таким образом, на основе этих индексов возможно оценивать условия труда работников исключительно с позиции одного конкретного фактора.

Вместе с тем, подобные однофакторные подходы не позволяют в полной мере раскрыть картину совокупного воздействия и, в особенности, количественно оценить степень синергизма между факторами. Полученные результаты в рамках работы, связанные с разработкой и применением методов комплексной оценки профессионального риска, позволили установить комплексное синергетическое влияние данных факторов, что соответствует цели данного исследования.

Комплексная оценка профессиональных рисков (Comprehensive Risk Assessment, CRA). С учётом вышеизложенных теоретических и практических обоснований,

демонстрирующих выраженный синергизм четырёх доминирующих вредных производственных факторов в керамической промышленности, применение комплексного метода оценки профессионального риска CRA признаётся не только целесообразным, но и объективно необходимым для получения адекватной и научно обоснованной картины суммарного риска здоровью работников. В связи с этим ниже последовательно представлены результаты расчётов профессионального риска, выполненных с применением метода CRA на всех предусмотренных этапах исследования.

Значения ER (DR) для каждого ВПФ и рабочих групп приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расчетные значения ER (DR) для основных ВПФ (составлено автором)

Рабочая группа ВПФ	Параметр	Дробилка	Шаровая мельница с распылением	Пресс-сушилка	Обжиговая печь	Глазурь	Линия глазурования	Окончательная обработка и упаковка
АПФД (SiO ₂) (мг/м ³)	E	0.19	0.07	0.04	0.05	0.05	0.01	0.02
	PEL	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
	E/PEL	1.9	1.94	1.29	0.78	0.99	0.81	0.94
	ER	5	5	4	4	4	2	3
Шум (дБ(А))	E	95	84.20	82.59	80.35	82.19	79.14	82.01
	PEL	85	85	85	85	85	85	85
	E/PEL	1.13	0.99	0.97	0.94	0.96	0.93	0.96
	ER	4	3	3	3	3	3	3
E (лж)	E	-	33.34	106.03	131.93	257.77	124.75	105.94
	PEL	-	300	300	300	300	500	500
	PEL/E	-	8.99	2.82	2.28	1.16	4.00	4.71
	DR	-	5	5	5	4	5	5
ПМ (°С)	E	15.08	18.89	22.28	25.80	21.00	21.00	20.16
	PEL	27.5	29	29	29	29	29	28.00
	E/PEL	0.54	0.65	0.76	0.88	0.72	0.72	0.72
	ER	3	3	3	3	3	3	3

Примечание: E: средневзвешенное по времени недельное воздействие, PEL: допустимые пределы воздействия, ER: рейтинг воздействия, DR: рейтинг недостатков.

Значение второго параметра по уравнению (17), HR, обосновано согласно следующему пояснению. Вдыхание АПФД, содержащих наиболее опасный компонент SiO₂, представляет серьёзную угрозу для здоровья работников. Согласно классификации Международного агентства по изучению рака (IARC), SiO₂ отнесён к канцерогенам группы 1 — веществам с доказанным канцерогенным действием на человека [51,94,120,121]. В связи с этим параметр HR для данного фактора установлен на максимальном уровне, равном пяти, что отражает высокий потенциал риска при длительном и интенсивном воздействии.

Воздействие повышенного уровня шума в керамическом производстве способствует развитию нарушений слуха, включая профессиональную тугоухость [1,17,42]. Поскольку шум оказывает синергетическое воздействие и его последствия проявляются при длительном

воздействии шума, приводящем к развитию профессиональной тугоухости, параметр HR для данного фактора, согласно полученным нами результатам, установлен на уровне, равном четырём, что отражает умеренно выраженное хроническое влияние на здоровье работников.

Недостаточные параметры освещения на предприятиях керамической промышленности приводят к повышенной зрительной нагрузке, утомляемости и снижению производительности труда, а также повышают риск травматизма. Длительное воздействие низкого уровня освещённости способствует развитию стойких нарушений зрения [5,11,31]. С учётом этого параметр HR для фактора параметров освещения установлен на уровне, равном трём, что отражает высокий потенциал опасности при систематическом воздействии.

Параметры микроклимата на отдельных участках керамического производства способствуют развитию теплового стресса и снижению работоспособности. При соблюдении регламентов рабочего времени и предоставлении компенсаторных перерывов данный фактор, как правило, не вызывает серьёзных или необратимых последствий для здоровья [7]. С учётом этого коэффициент HR для температурного фактора принят на уровне трёх, что соответствует умеренному уровню профессионального риска.

Результаты оценки по матрице RR показали различный уровень профессионального риска для исследуемых ВПФ. В частности, АПФД (SiO_2) была отнесена к категории очень высокого риска, фактор шума — к категории высокого риска, тогда как Е и ПМ были оценены как факторы среднего уровня риска (рисунок 3.19).

Значения RR для четырёх основных ВПФ представлены на рисунке 3.20. Анализ полученных экспериментальных данных, визуализированных на рисунке 3.20, показал следующую последовательность убывания уровня риска: АПФД > шум > Е > ПМ.



Рисунок 3.19 – Матрица риска ВПФ в керамической промышленности
(составлено автором)



Рисунок 3.20 – Значение RR для ВПФ (составлено автором)

На основании рассчитанных показателей приведена классификация ВПФ по уровням риска, которая представлена на рисунке 3.21. Согласно результатам диссертационного исследования, самым высоким риском считается АПФД, который наблюдается на всех рабочих группах.

На рисунке 3.21 показаны уровни риска воздействия ВПФ для рабочих групп по результатам матрицы RR (рисунок 2.5). Для АПФД (SiO_2) к категории очень высокого риска отнесены группы дробления, пресс-сушки, шарового помола с распылением, глазурирования, а также окончательной обработки и упаковки, что подчёркивает необходимость строгого контроля воздействия в этих рабочих группах. В то же время группа печи и линия глазурирования классифицируется как высокий риск, что также является значимым уровнем воздействия. По фактору шума все рабочие группы были отнесены к категории высокого риска. По факторам Е и ПМ все рабочие группы были отнесены к категории среднего риска.

Согласно результатам диссертационного исследования, все рабочие группы относятся к категории среднего риска по факторам Е и ПМ и к категории высокого риска по фактору шума. По фактору АПФД все рабочие группы, за исключением линии глазурирования и печи, относятся к категории очень высокого риска.

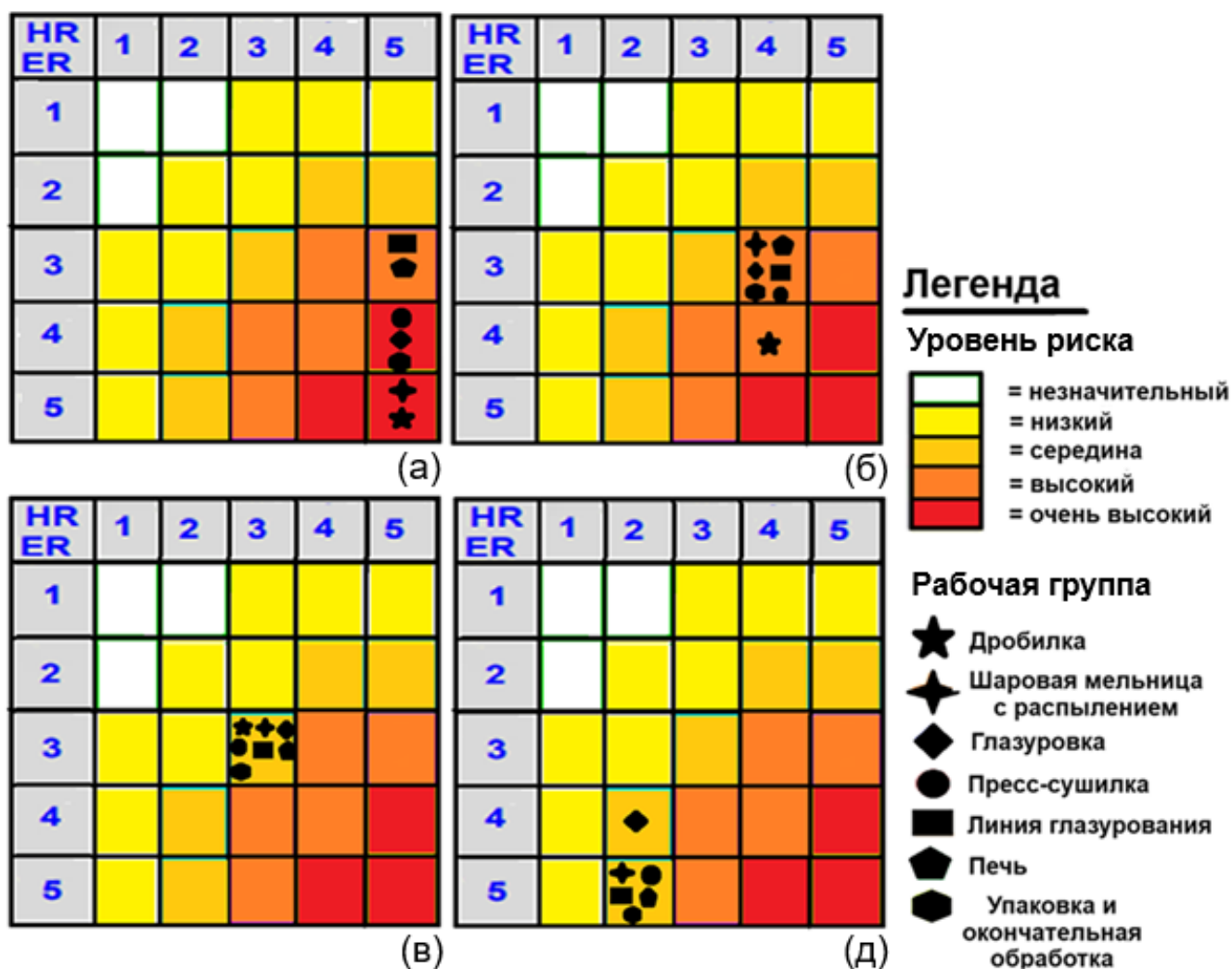


Рисунок 3.21 – Уровни риска для респираторного АПФД (SiO_2) (а), шума (б), ПМ (в) и ПО (д) в различных группах работы на основе результатов матрицы оценки риска

(составлено автором)

Значения RR для каждого ВПФ по всем рабочим группам представлены на рисунке 3.22. Проведённый анализ выявил, что наибольшие значения RR по фактору АПФД (SiO_2) зафиксированы в группах дробилка и шаровая мельница с распылением (5), что свидетельствует о высоком уровне воздействия АПФД (SiO_2) на работников данных категорий и, соответственно, о значительной степени профессионального риска. С другой стороны, значения RR для профессиональных групп пресс-сушилка, обработка обжига и глазуровка находились в классе высокого риска. В то же время, в группах линии глазурования и окончательной обработки и упаковки изделий уровень риска, связанный с воздействием АПФД (SiO_2), оказался умеренным, что указывает на сравнительно более благоприятные условия труда по данному фактору либо на меньшую продолжительность или интенсивность экспозиции.

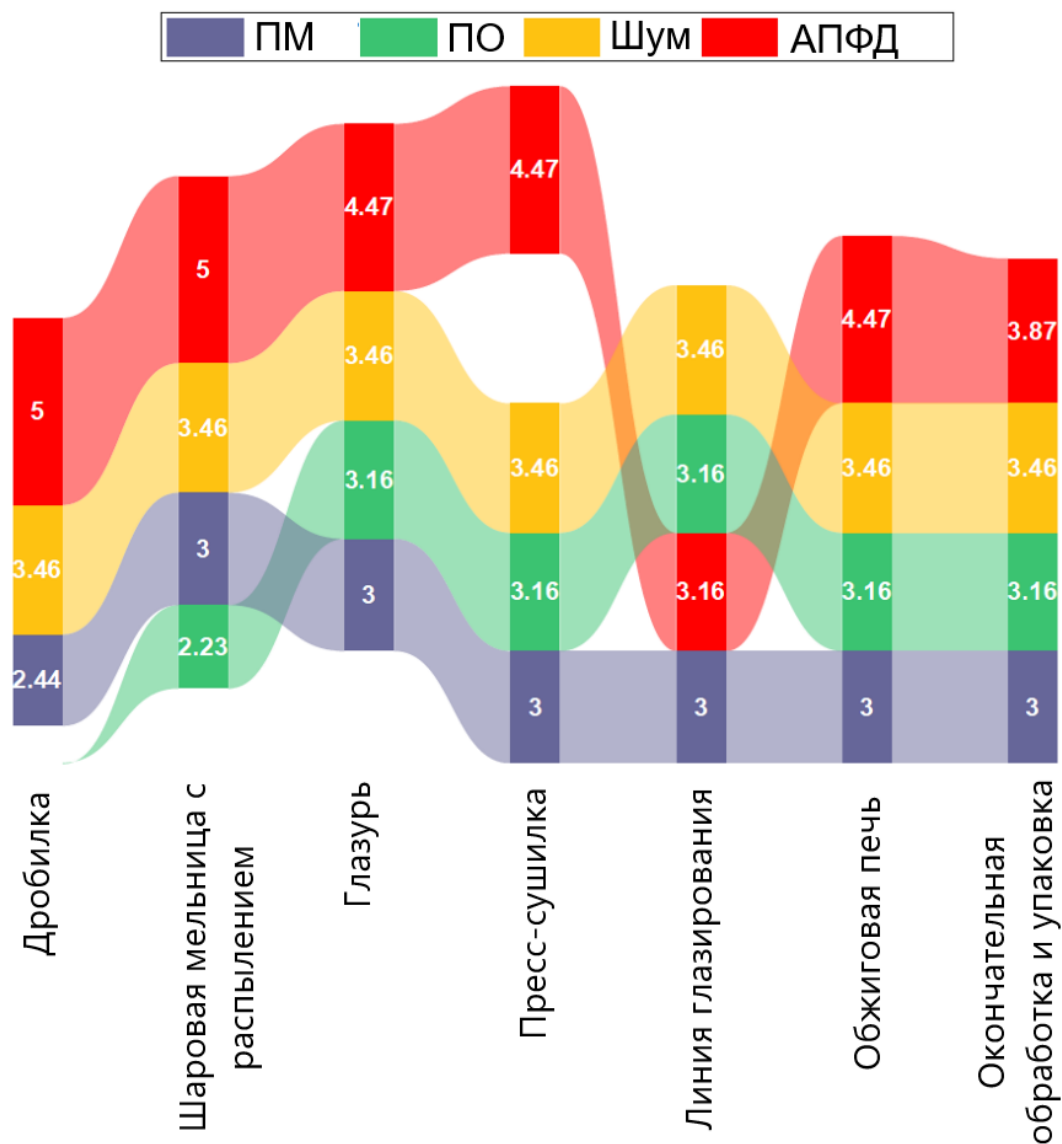


Рисунок 3.22 – Значение RR факторов для каждой из рабочих групп (составлено автором)

Для всех рабочих групп значения RR по фактору шума находились в пределах, соответствующих высокому уровню риска, что свидетельствует о стабильности условий воздействия данного фактора в различных производственных зонах. По фактору недостаточной освещённости в группе шаровая мельница с распылением значение RR было оценено как низкое, что указывает на относительное соответствие условий освещения санитарно-гигиеническим нормативам. В то же время в остальных группах данный фактор демонстрировал средний уровень риска, обусловленный недостаточной освещённостью рабочих мест и увеличенной зрительной нагрузкой. Что касается воздействия ПМ-фактора, то в группе дробилка уровень RR был классифицирован как низкий, что, вероятно, связано с отсутствием длительного пребывания работников в местах с неблагоприятными ПМ или наличием эффективных мер термической защиты. Для остальных групп ПМ-фактор характеризовался средним уровнем риска, что соответствует условиям труда, сопряжённым с периодическим воздействием неблагоприятных ПМ.

Результаты диссертационной работы по исследованию распределения кумулятивного (совокупного) профессионального риска (CRA), обусловленного синергическим воздействием четырёх ВПФ в условиях керамического производства, представлены на рисунке 3.23.

По результатам проведённого исследования, мы полагаем, что идентификация наиболее уязвимых зон на основе данных карты может служить не просто описательным инструментом, а научно обоснованной основой для разработки целенаправленных мер по повышению эффективности снижения уровня профессиональных рисков.

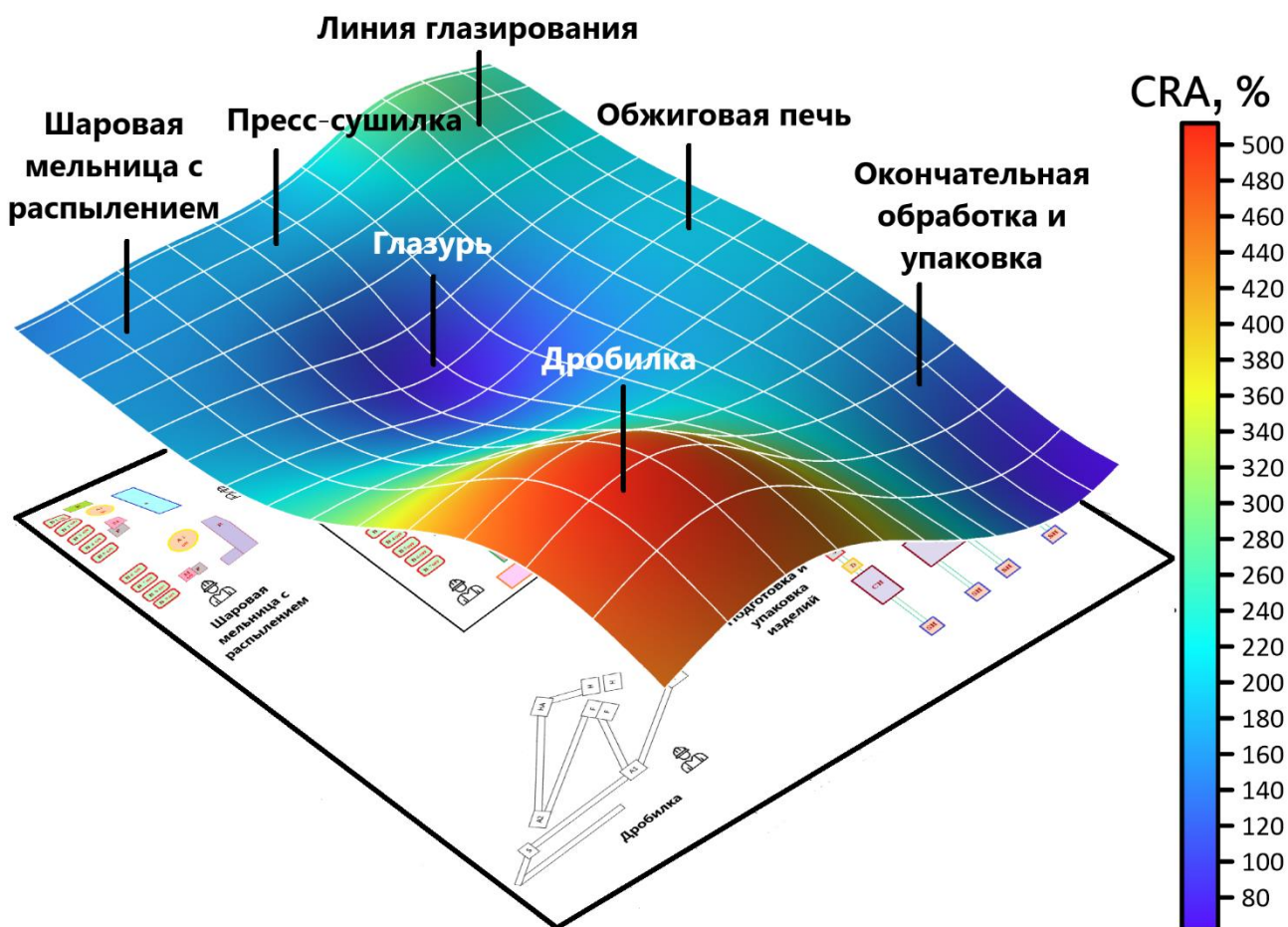


Рисунок 3.23 – Карта пространственного распределения уровня CRA по рабочим группам (составлено автором)

Анализ экспериментальных результатов диссертационной работы, представленных на рисунке 3.23, показал, что суммарные значения кумулятивного риска варьируются в широком диапазоне — от 62 % до 512 %. Такая значительная дифференциация уровня риска не может быть объяснена лишь различиями в интенсивности отдельных факторов; она напрямую обусловлена степенью синергического взаимодействия между ВПФ, которая существенно изменяется в зависимости от пространственного расположения рабочих мест и специфики технологических операций, выполняемых на каждом участке. Анализ пространственного распределения совокупного риска выявил, что наивысшее значение CRA было зафиксировано в группе «дробилка», где суммарный уровень риска составил 512 %. В то же время наименьшее

значение CRA наблюдалось в группе окончательная обработка и упаковка — 62 %. Убывающая последовательность совокупных значений риска для различных рабочих групп представлена следующим образом: дробилка (512 %) > линия глазурирования (287 %) > обжиговая печь (199 %) > пресс-сушилка (174 %) > шаровая мельница с распылением (149 %) > глазуровка (74 %) > окончательная обработка и упаковка (62 %). Значение 512 % отражает интегральный показатель совокупного риска, превышающий базовый уровень более чем в пять раз, и не представляет собой вероятность, а характеризует относительную интенсивность воздействия совокупности производственных факторов.

3.4 Выводы по третьей главе

В третьей главе автором диссертационной работы были разработаны и апробированы комплексные методы оценки профессиональных рисков, адаптированные к специфическим условиям керамической промышленности. Основные результаты и выводы можно сформулировать следующим образом:

Основные результаты и выводы, полученные и сформулированные в третьей главе диссертационной работы, основаны на экспериментальных данных и результатах статистической обработки, полученных автором лично, а также службой охраны труда предприятия. Оценка рисков для здоровья от воздействия АПФД (SiO_2) была проведена с использованием метода оценки риска для здоровья (HRA). Этот подход подтвердил свою эффективность для анализа как канцерогенного, так и неканцерогенного риска. Риски, связанные с воздействием АПФД (SiO_2) на органы дыхания, требуют тщательного мониторинга на рабочих местах.

Вероятностный анализ воздействия АПФД (SiO_2) на организм показал, что интегральный канцерогенный риск остаётся приемлемым. Вместе с тем оценка по индексу HQ выявила, что 95-й перцентиль значения превышает пороговый уровень (1,07), что указывает на потенциально неприемлемый неканцерогенный риск для части работников предприятия. Полученные результаты обосновывают необходимость разработки целевых мер контроля на рабочих местах с наибольшей среднесменной концентрацией АПФД.

Полученные результаты оценки воздействия ВПФ, в частности шума, позволили разработать индекс $W_{нс}$, учитывающий пространственно неоднородный шумовой фон, характерный для керамического производства. Значения индекса варьировались от 0,056 до 0,99, что позволило ранжировать рабочие зоны по уровню шумовой нагрузки. Наибольший риск профессиональной потери слуха был выявлен у операторов дробилки, шаровой мельницы и участка упаковки, где значения индекса были близки к 1, что обуславливает необходимость обязательного применения средств индивидуальной защиты органов слуха.

В ходе диссертационного исследования и обработки экспериментальных данных был выявлен выраженный градиент тепловой нагрузки, зависящий от близости к источнику тепла. Уровень риска изменялся от среднего в рабочей группе дробления (34,5 %) до чрезвычайно высокого в зоне обжиговой печи (72 %), что обосновывает необходимость применения дифференцированных мер: от регламентированных перерывов и обеспечения гидратации до инженерных решений, направленных на снижение температуры.

Полученные результаты оценки параметров освещения позволяют сделать вывод о значительной неравномерности световой среды. Наихудшие условия были зафиксированы в рабочей группе, включающей рабочие места участка шаровой мельницы с распылением, где уровень риска составил 72 %. Это указывает на необходимость оптимизации освещения. Учёт таких параметров, как равномерность, ослеплённость и цветопередача, делает индекс $R_{по}$ адекватным инструментом для оценки качества освещения, что имеет принципиальное значение для обеспечения надлежащего визуального контроля продукции.

Анализ условий труда в каждой рабочей группе подтвердил, что работники керамической промышленности подвергаются комбинированному воздействию нескольких вредных производственных факторов, включая АПФД, шум, параметры микроклимата и освещённость. Совместное действие этих факторов может усиливать общий неблагоприятный эффект. При этом использование однопараметрических индексов оценки риска (HRA , W_{HC} , $R_{пм}$, $R_{по}$), хотя и полезно для детального анализа отдельных факторов, не позволяет в полной мере учесть их совокупное воздействие, что может приводить к недооценке реального уровня риска.

Метод комплексной оценки рисков (CRA), основанный на методологии комплексной оценки профессионального риска для здоровья (COHRA) и матрице рисков, позволил преодолеть ограничения одномерных подходов. Его ключевым преимуществом является раздельная оценка уровня воздействия $ER(DR)$ и тяжести последствий для здоровья HR . Результаты, полученные с использованием матрицы рисков (RR), позволили классифицировать факторы по степени опасности следующим образом: очень высокий риск – АПФД (SiO_2); высокий риск – шум; средний риск – Е и ПМ.

Пространственное распределение суммарного риска, рассчитанного по модели CRA, наглядно позволяет идентифицировать наиболее уязвимые производственные зоны. Максимальный совокупный риск зафиксирован в группе дробления (512 %), минимальный — в группе окончательной обработки и упаковки (62 %). Значение 512 % отражает интегральный показатель совокупного риска, превышающий базовый уровень более чем в пять раз, и не представляет собой вероятность, а характеризует относительную интенсивность воздействия совокупности производственных факторов.

Разработанные автором диссертационной работы методики ($W_{НС}$, $R_{ПМ}$, $R_{ПО}$, CRA) представляют собой научно обоснованный инструментарий для всесторонней оценки профессиональных рисков в керамической промышленности. Их применение позволяет не только идентифицировать и ранжировать основные угрозы здоровью работников, но и количественно обосновывать управленческие решения, направленные на снижение экспозиции ВПФ, оптимизацию условий труда и, в конечном итоге, на минимизацию профессиональной заболеваемости. Результаты третьей главы служат практической основой для совершенствования системы управления охраной труда на предприятиях отрасли.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Цель настоящей главы заключается в обосновании комплекса научно обоснованных и практико-ориентированных рекомендаций, направленных на снижение уровня профессиональной заболеваемости среди производственного персонала керамической промышленности. Данные рекомендации формируются строго на основе количественных результатов метода CRA, полученных в предыдущих разделах исследования, а также детального анализа приоритетных ВПФ, выявленных в ходе мониторинга условий труда и состояния здоровья работников. В частности, представлены первоначальные пояснения для подготовки карты приоритизации рабочих групп на основе результатов CRA, с помощью которой можно достичь целей данной главы.

На основе значений CRA с использованием принципа Парето было выполнено ранжирование ВПФ и рабочих групп согласно таблице 2.13 (стр. 47). На основании результатов расчётов, выполненных с применением принципа Парето, были установлены три основных класса приоритизации целенаправленных мероприятий по контролю факторов риска, для которых определены следующие диапазоны значений CRA: высокий ($CRA \geq 384 \%$), средний ($315 \% \leq CRA < 384 \%$) и низкий ($CRA < 315 \%$). В соответствии с данной классификацией фактору АПФД (SiO_2) был присвоен наивысший приоритет, фактору шума – средний, тогда как факторы Е и ПМ были отнесены к категории низкого приоритета. Такая классификация отражает вклад каждого ВПФ в формирование общего профессионального риска и служит основой для дифференцированного распределения ресурсов при реализации мероприятий по охране труда.

В рамках приоритизации рабочих групп по принципу Парето были установлены три основных класса, для каждого из которых определены соответствующие диапазоны значений CRA, полученные согласно таблице 2.13 (стр. 47): высокий класс ($CRA \geq 422 \%$), средний класс ($152 \% \leq CRA < 422 \%$) и низкий класс ($CRA < 152 \%$). В соответствии с полученной классификацией рабочая группа дробления была отнесена к высшему приоритетному классу, группы прессования и сушки, глазурования и обжиговых печей – к среднему классу, тогда как группы окончательной обработки и упаковки, шаровой мельницы с распылением и глазуровки – к низшему классу.

После обобщения результатов приоритизации была составлена карта приоритизации рабочих групп, представлена на рисунке 4.1. На её основе в четвёртой главе диссертации будет проведён анализ и разработка мероприятий, направленных на улучшение условий труда работников керамической промышленности Ирана.

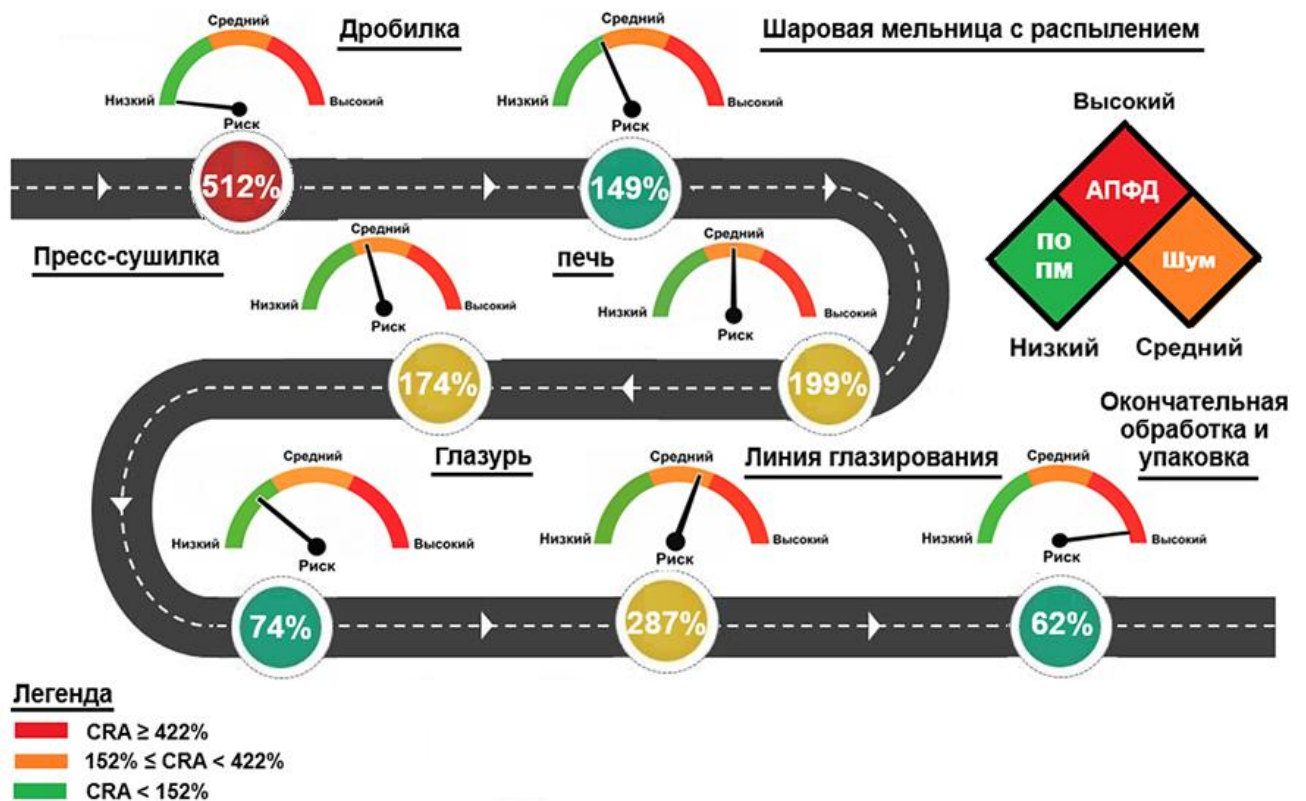


Рисунок 4.1 – Карта приоритизации рабочих групп и ВПФ для внедрения целенаправленных мер в керамической промышленности (составлено автором)

4.1 Улучшение условий труда работников с использованием административных и инженерно-технических мер

Улучшение условий труда в керамической промышленности невозможно без внедрения инженерных мероприятий, направленных на снижение воздействия вредных производственных факторов [45–47]. К числу таких мероприятий относятся модернизация технологического оборудования, совершенствование систем вентиляции и пылеулавливания, оптимизация освещённости и микроклимата в производственных помещениях, а также автоматизация процессов, позволяющая минимизировать прямой контакт работников с источниками пыли, высоких температур и других ВПФ [73,76,111,119].

Применение инженерно-технических и управленческих решений позволяет не только уменьшить вероятность возникновения профессиональных заболеваний, но и повысить производственную эффективность за счёт создания безопасной и комфортной рабочей среды [74]. Особое внимание следует уделять системам местных отсосов, эффективным фильтрам для удаления АПФД (SiO_2), а также защите от шумового воздействия и воздействия ПМ. На рисунке 4.2 представлен практический подход к снижению воздействия ВПФ с помощью инженерных мероприятий, направленных на улучшение безопасности и условий труда на предприятии.

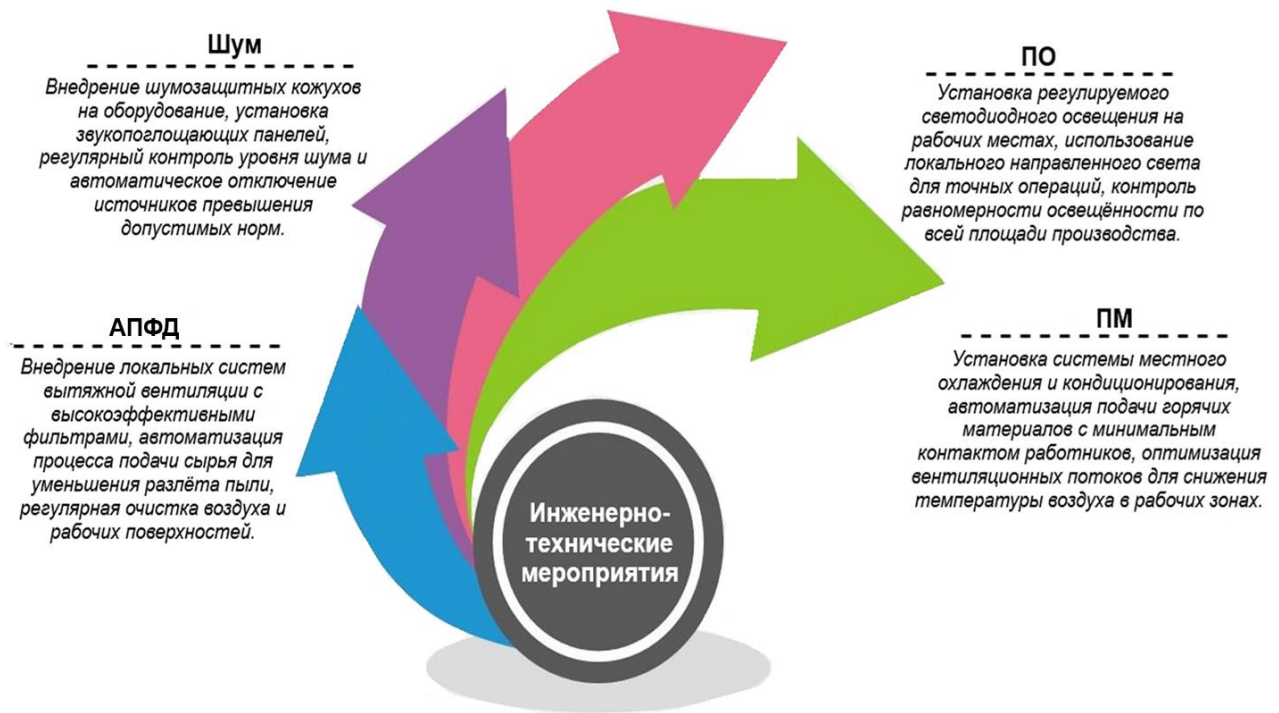


Рисунок 4.2 – Пример основных инженерно-технических мероприятий по снижению воздействия ВПФ (составлено автором)

Несмотря на то, что контроль АПФД в керамической промышленности до настоящего времени оставался мало исследованной областью, разработка и внедрение эффективных мер контроля позволяет значительно повысить уровень защиты здоровья работников данного сектора. Профилактика воздействия является единственным способом предотвращения проблем, связанных с пылью. Исследования Ohlander и др. (2020) [111], Glevitzky и др. (2025) [77] выделяют некоторые из лучших практик контроля, доступных для этой цели.

Эффективная система управления воздействием АПФД должна базироваться на комплексном подходе, включающем инженерные и организационные меры контроля [111,118-120]. Инженерные методы — это меры, направленные на изменение технических условий труда и снижение воздействия фактора за счёт технических решений (например, вентиляция, герметизация оборудования, автоматизация процессов, локальные отсосы и т.д.). Проведение инструктажей относится не к инженерным, а к организационно-управленческим методам, поскольку в данном случае изменяется поведение работников и порядок организации работ, а не техническая среда или оборудование. В рамках управления рисками обычно выделяют несколько групп методов: нормативно-правовые, организационно-управленческие и инженерно-технические. К таким подходам относятся подходы, направленные на снижение индивидуального воздействия при невозможности полного исключения пыли из рабочей зоны. Одним из инженерно-технических мероприятий является применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Подробное рассмотрение рекомендаций по применению

СИЗОД в задачу диссертационной работы не входило. Однако, в качестве примера мы рассмотрим респираторную маску класса APOLO FFP3 – NY8636 как наиболее распространенную маску, рекомендуемую для защиты от АПФД. Маски APOLO FFP3 – NY8636, обладающие эффективностью фильтрации до 99 % и минимальным уровнем утечек, обеспечивают высокий уровень защиты от опасных пылевых фракций, что значительно снижает риск развития профессиональных заболеваний на предприятии. Многоуровневая система фильтрации с использованием активированного угля, обеспечивающая эффективность улавливания частиц не менее 99 %, а также силиконовый клапан выдоха создают сочетание высокого уровня защиты и комфортных условий при длительном использовании. Дополнительные конструктивные элементы, включая четыре регулируемые точки крепления, анатомический фиксатор переносицы и внутренний латексный уплотнитель, обеспечивают плотное прилегание к лицу среднего размера, что особенно важно для предотвращения проникновения опасных аэрозолей. Соответствие стандарту EN 149:2001+A1:2009, правильный подбор размера и учет конструктивных особенностей, а также выбор моделей с клапаном или без него в зависимости от условий производства являются основными критериями при выборе оптимального средства защиты. Вместе с тем эффективность масок APOLO FFP3 – NY8636 в условиях керамического производства во многом определяется правильностью их применения и включением в комплексную систему мероприятий по снижению профессиональных рисков.

Инженерные методы являются наиболее эффективным и предпочтительным способом снижения концентрации АПФД в рабочей зоне, поскольку воздействуют непосредственно на источник загрязнения. Путём создания физического барьера — например, установки защитных ограждений машин, использования промышленного уборочного оборудования, закрытых или герметичных конвейеров, а также защитных штор — инженерные меры контроля могут эффективно снижать концентрацию АПФД. Воздухоочистители и системы фильтрации представляют собой сочетание фильтров и технологий очистки воздуха, способных снижать концентрацию АПФД на рабочем месте до 90%. Промышленная подметальная машина — это механизированное устройство, используемое для сбора сухих загрязнителей и пыли с поверхностей пола.

Производственные участки, на которых наблюдаются высокие концентрации АПФД, мы предлагаем оснастить местными отсосами в зонах пересыпки материала. Оснащение пылеопасных участков местными отсосами в зонах пересыпки материала, работы дробилок, прессов и сушильных установок обеспечивает удаление загрязнённого воздуха непосредственно у точки образования пыли. Результаты в третьей главе диссертации показали, что наибольшая концентрация АПФД (SiO_2) наблюдается в рабочей группе дробления. В связи с этим основные корректирующие мероприятия по снижению пылевыделения целесообразно

сосредоточить именно на данном участке. На основании данных мониторинга на участке дробилки были выделены следующие наиболее целесообразные мероприятия: контроль пылеобразования на дробилках рекомендуется осуществлять путём орошения водой, герметизации источников пыли с применением или без применения вытяжной вентиляции, либо комбинацией влажных и сухих методов. Загрузочная часть дробилки должна быть максимально герметизирована, а ограждения выполнены из прочных материалов, соответствующих условиям эксплуатации.

Предлагаемая система мокрого пылеудаления (рисунок 4.3) предусматривает установку подвесных штор и устройство бордюра или насыпи для уменьшения открытой фронтальной части ограждения.

В системах мокрого пылеподавления применяются распылители с полным или полым конусным факелом, обеспечивающие равномерное перекрытие зоны пылеобразования. Методы увлажнения материала могут реализовываться до дробления, после дробления или на обоих этапах, так как процесс дробления сопровождается образованием новых сухих поверхностей, требующих дополнительного орошения [115].

В данном исследовании предложена система местной вытяжной вентиляции (Local Exhaust Ventilation - LEV) для эффективного пылеподавления на рабочих местах. Расположение этой системы в дробильном агрегате показано на рисунке 4.4. Тип системы вентиляции в дробильном агрегате – кожуховой. Герметичные конструкции полностью изолируют источник пыли. Это наиболее эффективный тип укрытия, который полностью или почти полностью окружает дробильную камеру. Кожухи применяются для интенсивных процессов с высоким пылевыделением или при работе с особо токсичными материалами, где требуется максимальный контроль у источника.

На основании инженерно-технических мероприятий, является оснащение мест с выделением АПФД системами местных отсосов. Полагаем, что данное мероприятие, реализованное практически, позволит перевести риск из категории высокий в низкий (приемлемый). Это позволит значительно уменьшить профессиональный риск.

Для шаровой мельницы - распылительного блока рекомендуется система вентиляции кабинного (полузакрытого) типа. Данный тип представляет собой укрытие с одним или несколькими открытыми сторонами, часто спереди для доступа оператора. Он создает контролируемую воздушную завесу, втягивающую загрязнения внутрь. Кабины используются там, где необходим частый визуальный контроль, загрузка материалов или ручные операции, обеспечивая баланс между эффективностью улавливания и эргономикой.

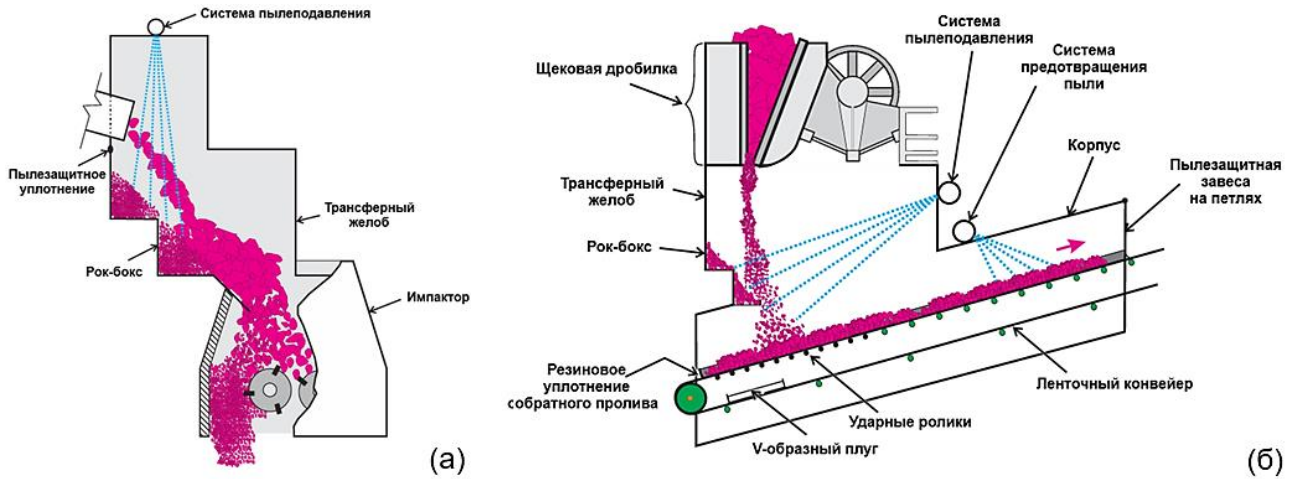


Рисунок 4.3 – Иллюстрация метода мокрого пылеподавления с частичным ограждением при разгрузке материала в дробилку (а). На рисунке показаны синие «веерные узоры», обозначающие водяные распылители (б) (составлено автором)

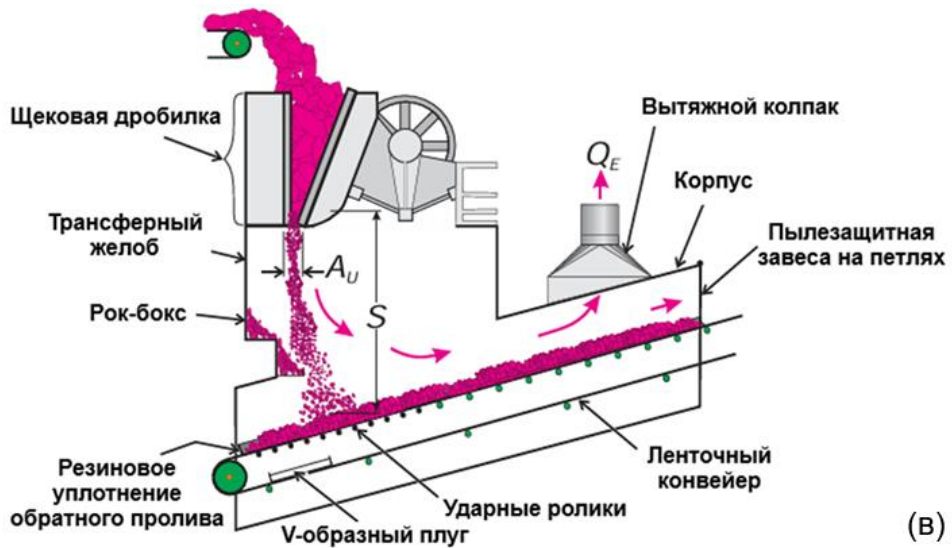
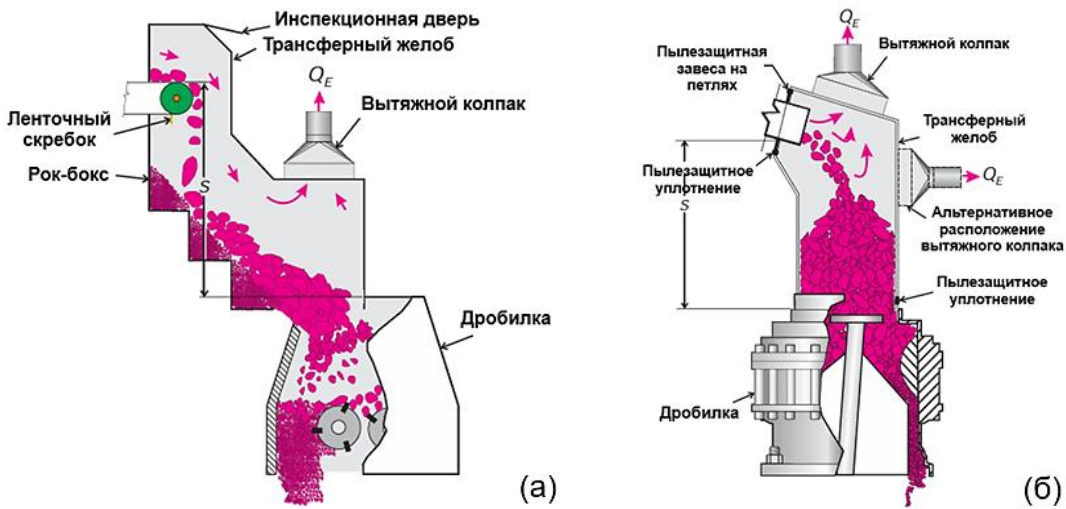


Рисунок 4.4 – Система сухого пылеподавления при разгрузке конвейера в бункер дробилки (а), на загрузочном лотке (б) и на разгрузке щёковой дробилки на ленточный конвейер (в) (составлено автором)

Для печного агрегата рекомендуется использовать систему вентиляции типа Зонт/Колпак. Зонт — это открытое снизу укрытие, размещаемое над источником тепла, пара или аэрозоля. Он использует естественную конвекцию (тепловой напор), когда нагретые загрязненные газы поднимаются вверх и захватываются отсосом. Зонты широко применяются над печами обжига, сушильными камерами и плавильными агрегатами в керамическом производстве для улавливания горячих потоков.

Для остальных агрегатов рекомендуется система вентиляции с боковым/щелевым отсосом (Бортовой отсос). Это укрытие в виде панели или желоба, устанавливаемое сбоку или по периметру источника выделений. Загрязненный воздух затягивается в щель или отверстие, расположенное рядом с зоной образования вредностей. Боковые отсосы идеальны для процессов на открытых поверхностях, таких как гальванические ванны, глазурирование изделий или некоторые сушильные установки, где важно не мешать работе сверху. Щелевой отсос конструктивно представляет собой длинную и узкую щель, что обеспечивает равномерное всасывание вдоль протяженного источника загрязнения. Щелевой отсос эффективен для линейных источников, так как создает постоянную скорость всасывания по всей длине при сравнительно небольшом общем расходе воздуха.

В нашем исследовании мы попытались представить различные системы местной вентиляции в соответствии со стандартами, установленными ACGIH [50]. Расположение этих локальных вентиляционных систем показано на рисунке 4.5.

На основании результатов диссертационного исследования по снижению пылевой нагрузки с целью снижения профрисков по пылевому фактору мы предлагаем установку систем местных отсосов, аналогичную той, что показана на рисунке 4.5. Предлагаемое нами инженерно-техническое решение хорошо согласуется с требованиями нормативно-правовых актов, регламентирующих вопросы защиты от воздействия аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. В случае внедрения предлагаемого нами решения на каждом из производственных участков, а следовательно и в рабочей группе, произойдет улучшение условий труда. В частности, на участках дробилки и распылительной мельницы при эффективности 98 % концентрация частиц после контроля практически достигла минимальных значений. Процессы прессования, глазурирования и линия глазурирования, с эффективностью 80–90 %, также демонстрируют заметное снижение, при котором концентрация частиц в этих подразделениях достигла очень низкого уровня. Даже в таких секциях, как печь и окончательная обработка и упаковка, где обычно эффективность контроля ниже, наблюдается снижение концентрации на 80–90 % (рисунок 4.5).

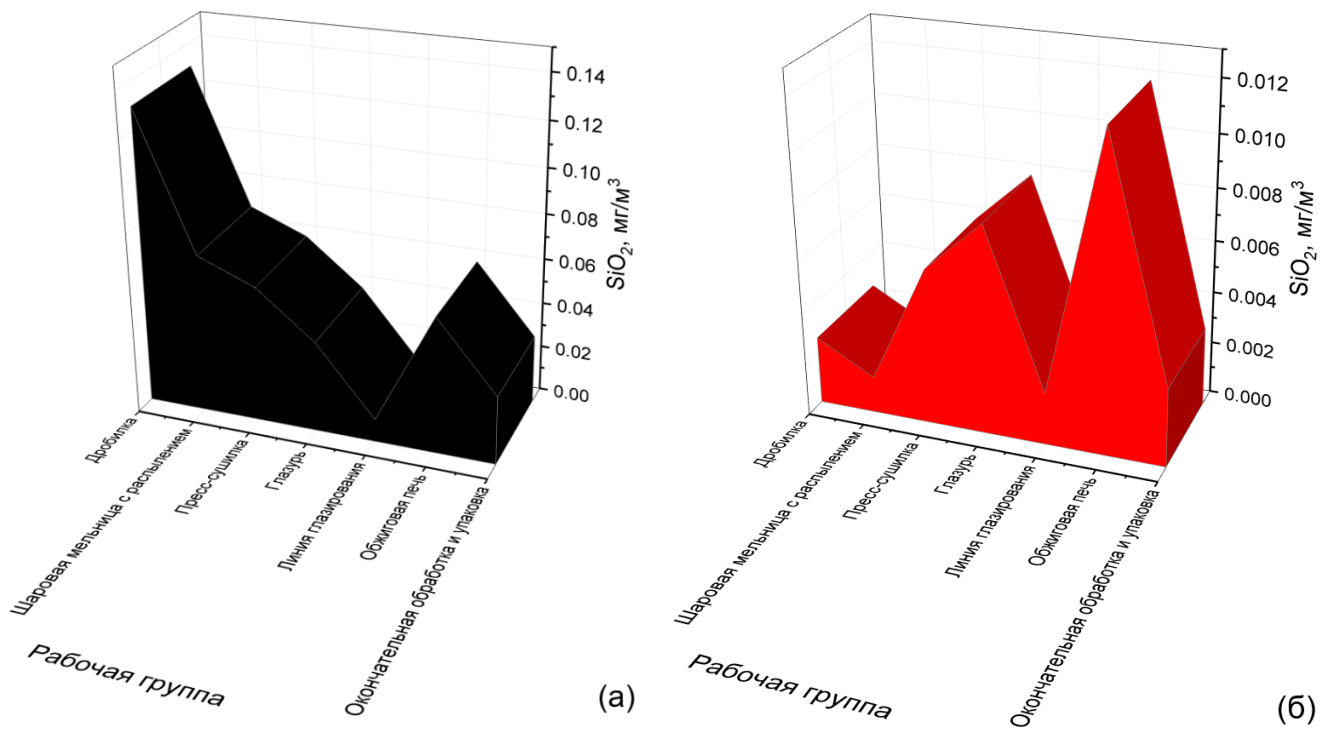


Рисунок 4.5 – Прогнозируемый уровень АПФД до (а) и после (б) установки оборудования (составлено автором)

Важно отметить, что допустимый стандарт для концентрации вдыхаемого SiO₂ составляет 0,025 мг/м³. Согласно рассчитанным данным, после установки зонтов на всех станциях концентрация частиц снизилась ниже этого предельно допустимого значения. Данные результаты свидетельствуют о высокой эффективности системы вентиляции и правильности проектного решения по организации местных вытяжных зонтов в керамической промышленности.

Контроль шума. В третьей главе диссертационного исследования было установлено, что работники керамической промышленности подвержены риску развития профессиональной тугоухости. Проведённый анализ выявил положительную линейную зависимость между уровнем производственного шума и степенью снижения слуховой чувствительности, что подтверждает прямое влияние интенсивности шумового воздействия на развитие нарушений слуха.

Поскольку опасности, связанные с воздействием шума, не могут быть полностью устранены путём ликвидации, замещения или инженерных мер контроля, следующим этапом снижения шума на рабочих местах является внедрение организационных мер, направленных на организацию безопасного режима труда и снижение индивидуального воздействия шума на работников [46]. Например, внедрение режима временных ограничений, изменение графика работы и так далее. Так, в условиях керамической промышленности целесообразно внедрение

режимных ограничений, например, изменение графика работы с целью минимизации времени пребывания работников в зонах с повышенным уровнем шума [127].

В настоящее время для контроля и своевременного выявления профессиональных заболеваний органов слуха применяется программа профилактики потери слуха (Hearing Loss Prevention Program, HLPP) [127,135].

На основании данных, полученных в результате оценки уровней воздействия шума, визуализированных, например, на рисунке 4.6, с учётом предлагаемых нами инженерно-технических мероприятий, можно сделать вывод о целесообразности применения дополнительных средств защиты слуха. Оценка эффективности применения средств индивидуальной защиты органов слуха проведена в соответствии с методическими рекомендациями Национального института охраны труда и здоровья США (NIOSH) по формуле (54):

$$ENL = dBA - (NRR - 7) \quad (54)$$

В нашем исследовании предложено использование берушей с уровнем снижения шума (Noise Reduction Rating, NRR) 28 дБ. Рисунок 4.6 демонстрирует влияние использования предложенных берушей на снижение уровней шума [49,127].

Для каждой рабочей группы мы оценили воздействие шума. Например, для работников камнедробильного участка, которые без средств защиты подвергались шуму с уровнем экспозиции от 1069 % до 7445 %, при среднем значении 4231,16 %. Однако при использовании берушей данный уровень снижался до менее чем 16%. Таким образом, при применении двойной защиты, включающей как беруши, так и противошумные наушники, происходит ещё более значительное снижение эффективного уровня шума (ENL). Какой вид защиты применять в том или ином случае, будут решать на предприятии согласно технико-экономическому обоснованию. Однако можно сказать, что помимо берушей можно использовать наушники, а также сочетание наушников и берушей.

При этом следует считать, что оценка эффективности использования противошумных наушников напрямую связана с длительностью их фактического применения. Влияние продолжительности ношения противошумных наушников на их эффективность было всесторонне изучено в исследовании, проведенном Эсмаилом Пуром и его коллегами [127,69].

На основании полученных результатов, связанных со снижением профессионального риска, обусловленного шумовым фактором, можно сформулировать следующие рекомендации. Во-первых, необходимо обеспечить систематический мониторинг не только уровней производственного шума, но и поведенческих характеристик работников, включая фактическую продолжительность использования средств индивидуальной защиты органов

слуха. Для этого целесообразно применять комплексный подход, сочетающий методы самоотчёта, прямого наблюдения и технологического контроля. Во-вторых, предлагается интегрировать принципы модели BASNEF в корпоративные системы управления охраной труда, что предполагает разработку соответствующих инструкций, проведение обучающих тренингов, а также создание действенных мотивационных и поощрительных механизмов, направленных на формирование безопасного поведения сотрудников.

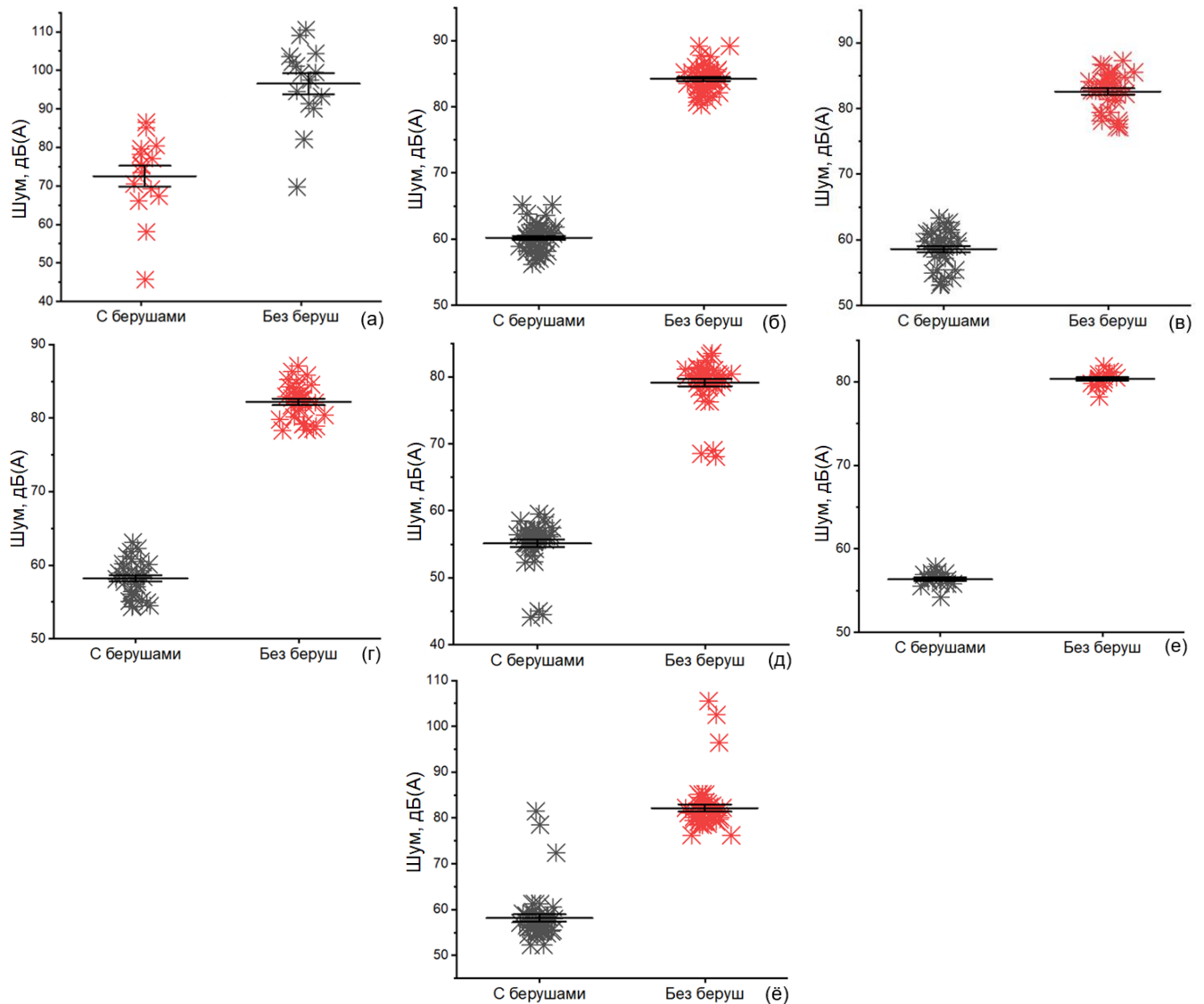


Рисунок 4.6 – Оценка уровня звука во всех рабочих группах с использованием беруш и без них с индексом снижения звука $NRR = 28$ дБ(А). Рабочие места: дробилка (а), шаровая мельница с распылением (б), пресс-сушилка (в), глазурь (г), линия глазурования (д), обжиговая печь (е) и окончательная обработка и упаковка (ё) (составлено автором)

Оптимизация параметров освещения: Анализ уровня освещённости, проведённый во второй главе диссертационного исследования, показал наличие отклонений от установленных нормативов, что указывает на необходимость совершенствования систем освещения с целью повышения производственной эффективности и создания комфортных условий труда. Этот

аспект приобретает особую значимость с учётом средней продолжительности рабочей недели в 48 часов, что увеличивает нагрузку на сотрудников и повышает вероятность ошибок и профессиональных заболеваний.

В настоящее время в исследуемом керамическом производстве основным источником искусственного освещения остаются компактные люминесцентные лампы, использование которых не обеспечивает оптимального уровня световой среды и приводит к снижению производительности труда при выполнении технологических операций. В связи с этим выбор более эффективных светотехнических решений для модернизации системы освещения рассматривается как первоочередной и наиболее результативный шаг в направлении оптимизации условий освещения рабочих мест.

Лучший подход к оптимизации условий освещения работников в керамической промышленности заключается в рассмотрении четырёх параметров. Подробное описание параметров, вошедших в уравнение (12), приведено на странице 43. С учётом этих параметров нами был разработан индекс расчёта риска $R_{по}$.

На основании аналитического обзора, представленного в первой главе и имеющихся научно-технических данных для нормализации параметров освещения исследованного нами перечня, лучше всего применять компьютерные программы по моделированию освещения рабочих мест [73]. Во-вторых, в качестве рекомендаций, основанных на результатах ситуационных исследований для устойчивого развития керамической промышленности, можно выделить специализированное программное обеспечение.

Для подтверждения нашего предположения о том, что программный комплекс DIALux позволяет выполнять светотехническое моделирование, была проведена соответствующая проверка. В таблице 4.1 представлен набор формул, используемых в программе DIALux для проектирования освещения и оптимизации его уровней.

Светотехническое решение было разработано с учётом рассмотренных в диссертационной работе рабочих групп. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.7.

Вместе с тем, для более точной оценки влияния предложенных изменений ниже приводится детализированное описание уровней освещённости в рабочих местах, где сотрудники находятся с наибольшей вероятностью и выполняют основные технологические операции.

На рабочем месте шаровой мельницы с распылением освещённость после оптимизации возросла с 47 до 329 лк, что обеспечило комфортные условия для визуального контроля.

На линии пресс-сушилка до оптимизации освещённость составляла 28–121 лк, после — 282–300 лк, в сушильных камерах — с 28–39 лк до 282 лк, что обеспечило соответствие нормативам 250–300 лк и создание безопасных условий работы.

На рабочем месте глазурирования оптимизация освещения с 4–105 лк до 376 лк в зоне мельниц и 282 лк в зоне смесителей позволила достичь нормативов ≥ 250 лк, цветовой температуры 6500 К и $CRI \geq 80$.

Таблица 4.1 – Уравнения, используемые в программном обеспечении DIALux для оптимизации освещения рабочих мест [118]

№	Показатель	Определение	Уравнение	Описание параметров
1	Освещённость (Е)	Плотность светового потока на освещаемой поверхности называется освещённостью; единица измерения — люкс.	$E = \frac{\Phi}{A}$	Φ — световой поток (лм); А — площадь (m^2)
2	Световая эффективность (η)	Отношение светового потока к электрической мощности светильника; показатель эффективности генерации света.	$\eta = \frac{\Phi}{P}$	Φ — световой поток (лм); Р — электрическая мощность светильника (Вт)
3	Световой поток (Φ)	Количество энергии, излучаемой источником в видимом диапазоне за единицу времени (dQ/dt).	$\Phi = \frac{E \times A}{CU \times LLF}$	Е — освещённость (лк); А — площадь (m^2); CU — коэффициент использования (безразмерный); LLF — коэффициент потерь света (безразмерный)
4	Коэффициент использования (CU)	Освещённость от каждого светильника зависит от отражения света от потолка, стен и пола. Для каждого светильника существует таблица CU, включающая значение RCR и коэффициенты отражения.	$CU = \frac{RCR}{5hr \times (L + W) \times L \times W}$	hr — расчётная высота (м); W — ширина (м); L — длина (м)
5	Требуемое количество светильников (n)	Определение общего количества светильников для заданного пространства.	$n = \frac{\Phi}{\Phi_1}$	Φ — общий световой поток (лм); Φ_1 — световой поток одного светильника (лм)

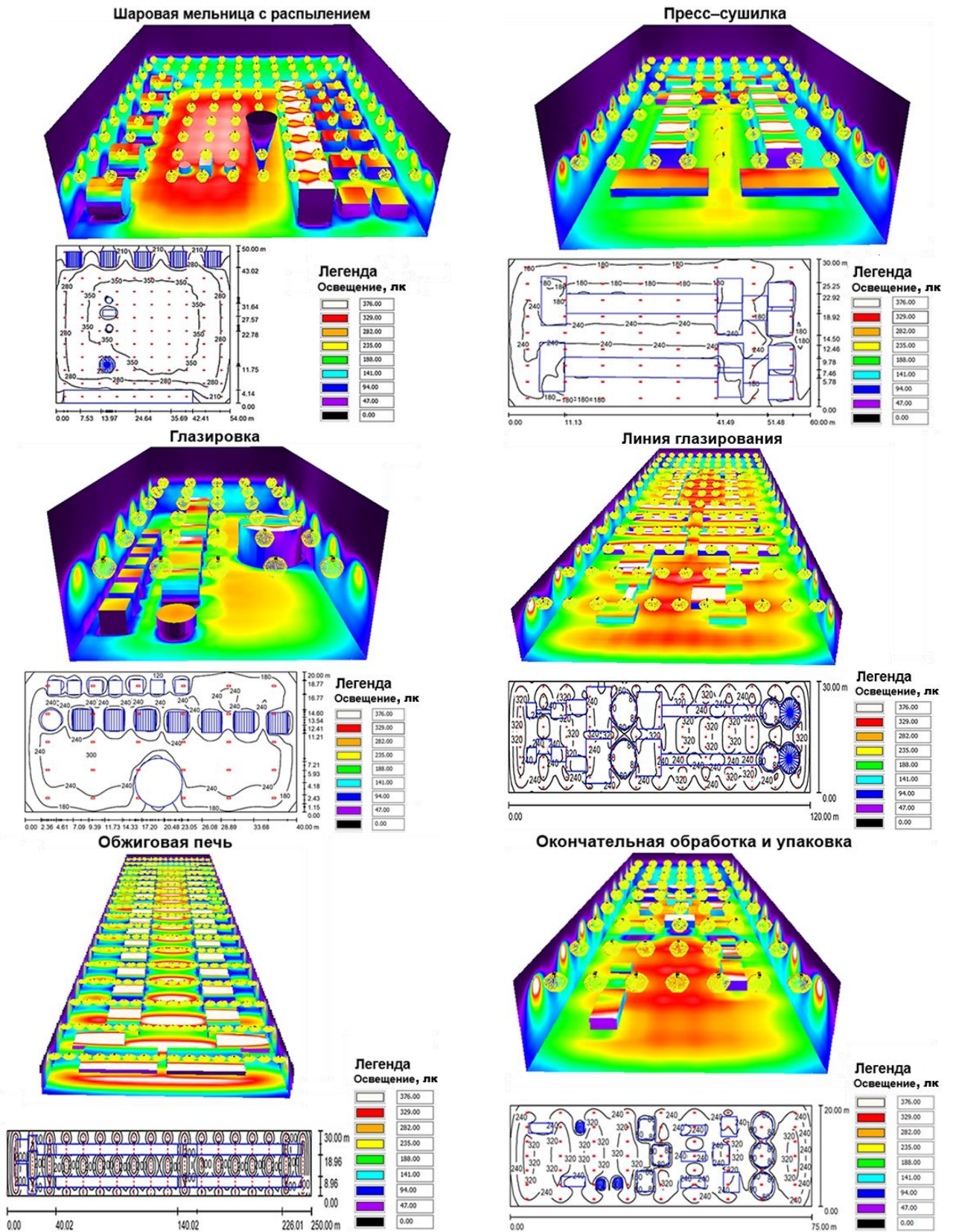


Рисунок 4.7 – Оптимизированное освещение рабочих мест в программном обеспечении DIALux (составлено автором)

На линии глазирования освещённость увеличена до 350 лк, рабочие поверхности достигли 282 лк, что обеспечило оптимальные условия для нанесения ангоба и декоративной печати.

В зоне обжиговой печи уровень освещённости в местах загрузки и контроля продукции повысился до 282 лк при минимальном нормативе 250 лк.

На рабочем месте окончательной обработки и упаковки освещённость после установки 110 светильников возросла до 400 лк в центральных секциях и до 340 лк в зонах с повышенными требованиями, обеспечивая комфортные и безопасные условия труда для работников (рисунок 4.8).

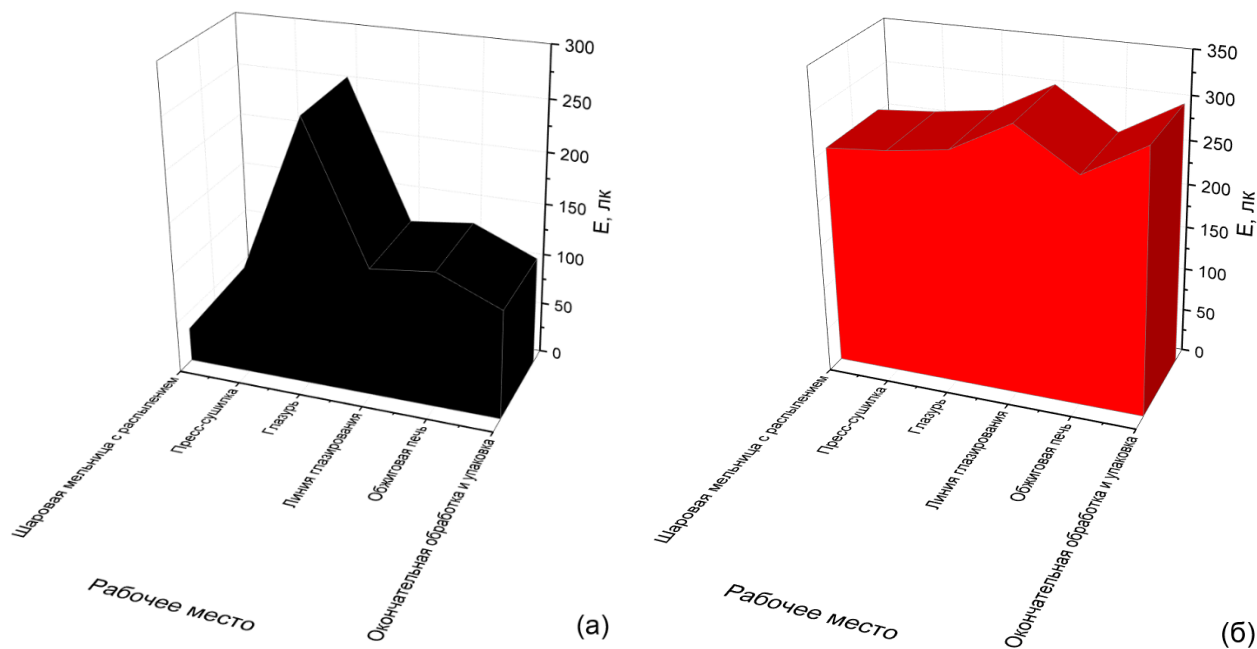


Рисунок 4.8 – Средние уровни освещённости до (а) и после (б) применения рекомендаций по оптимизации условий освещения рабочих мест (составлено автором)

Следует отметить, что оптимизация условий освещённости в настоящем исследовании осуществлялась также за счёт варьирования проектных параметров светотехнической системы. В частности, были рассмотрены четыре управляемых фактора: коэффициент светопотерь (А), высота установки светильников (В), количество светильников (С) и тип светильников (D). При этом особое внимание в процессе оптимизации уделялось типу светильников, который рассматривался как интегральный параметр, отражающий совокупное влияние основных светотехнических характеристик. В частности, данный параметр учитывает результаты оценки по ключевым критериям риска, включая уровень освещённости, равномерность освещения, показатель ослеплённости, цветопередачу и мерцание ламп. Таким образом, выбор типа светильников осуществлялся с учётом совокупного влияния указанных факторов, что позволяло более точно оценивать условия зрительного восприятия и повышать достоверность результатов оптимизации при выборе наиболее эффективных светотехнических решений для рабочих мест. Далее, для оценки степени соответствия указанных параметров нормативным и эргономическим требованиям была применена функция желательности Деррингера–Суича. Индивидуальная функция желательности (Individual Desirability) (y_i) принимает значения в

диапазоне от 0 до 1, где 0 соответствует полностью неприемлемым условиям, а 1 — оптимальным, и рассчитывается по следующему выражению:

$$d_i(y_i) = \begin{cases} 0, & y_i < L_i \\ \left(\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{S_i} & L_i \leq y_i \leq T_i \\ 1, & y_i > T_i \end{cases} \quad (55)$$

где d_i (Individual Desirability Function) – индивидуальная функция желательности,

y_i – представляет собой значение уровня освещённости как основного отклика модели оптимизации,

L_i – обозначает нижний допустимый предел уровня освещённости, ниже которого условия освещения считаются неудовлетворительными,

T_i – является оптимальным значением уровня освещённости, соответствующим наилучшим условиям зрительного комфорта и производственной эффективности,

S_i – параметр формы функции, определяющий чувствительность изменения желательности к отклонениям уровня освещённости от целевого значения.

Обобщённая функция желательности, характеризующая совокупное качество освещения, определяется как геометрическое среднее отдельных функций с учётом весовых коэффициентов значимости:

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (56)$$

где d_i представляет индивидуальную желательность уровня освещённости,

w_i – весовой коэффициент, отражающий относительную значимость данного параметра в общей функции оптимизации,

n – количество рассматриваемых откликов (уровень освещённости).

В результате оптимизационного анализа были определены комбинации указанных факторов, при которых достигалось максимальное значение интегрального критерия желательности (Desirability, D). На этой основе для каждого конкретного рабочего места были установлены оптимальные значения параметров A, B, C и D, обеспечивающие наилучшие условия освещения с точки зрения нормативных требований и зрительного комфорта. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.9.

В качестве вывода можно отметить, что степень желательности превышает 0,9, что указывает на высокую эффективность проведённой оптимизации и адекватность подобранных параметров освещения. Это подтверждает, что разработанные сценарии обеспечивают нормативный уровень освещённости, достаточную равномерность распределения светового потока и соответствие требованиям эргономики зрительной работы.

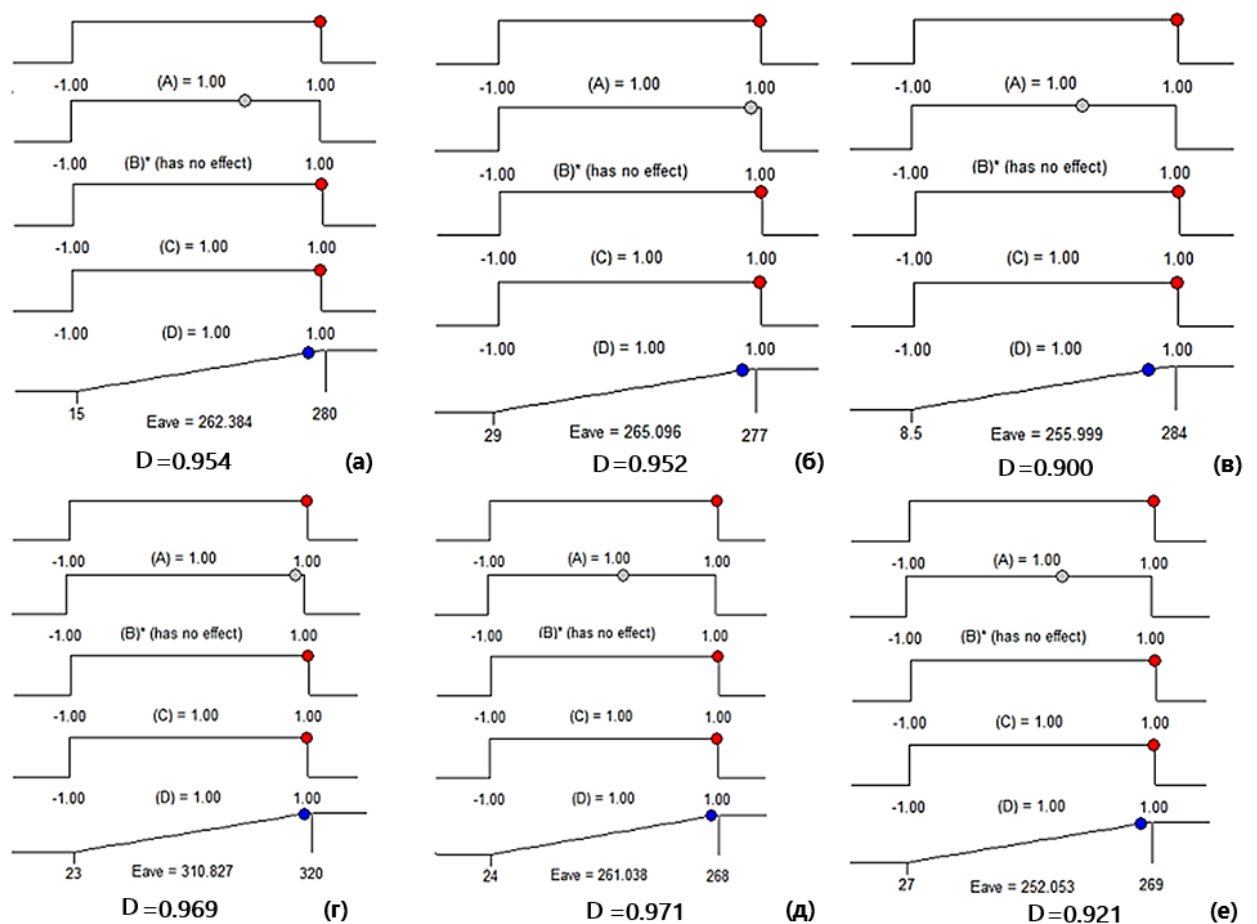


Рисунок 4.9 – Степень желательности освещённости для рабочих мест: шаровая мельница с распылением (а), пресс-сушилка (б), глазурь (в), линия глазурирования (г), обжиговая печь (д) и окончательная обработка и упаковка (е). Символы: (А) коэффициент светопотерь, (В) высота установки светильников, (С) количество светильников и (D) тип светильников (составлено автором)

Контроль параметров микроклимата. На основании экспериментальных данных об оценке риска воздействия ВПФ, связанного с параметрами микроклимата, было установлено, что только в рабочей группе печи наблюдаются существенные проблемы. С учётом специфики размещения производственного оборудования и полученных в результатах по оценке профессионального риска и расчёту было установлено, что в качестве мер защиты и снижения воздействия данного фактора возможно применить только административные меры [7,12].

В качестве административных мер, направленных на профилактику теплового стресса, можно предложить: изменение интенсивности работы в периоды сильной жары, предоставление персональных средств охлаждения, организацию персонального мониторинга с использованием таймеров регистрации состояния работников и кнопок экстренного вызова (SOS) для оперативного реагирования, а также программы акклиматизации и физической

подготовки [68,20]. В качестве инженерно-технического мероприятия можно предложить рассмотреть вопрос о применении технологии геозонирования.

4.2 Влияние целевых мероприятий на уровни профессионального риска

В данном подразделе мы привели результаты оценки влияния целевых мероприятий на уровне профессионального риска. Полученные результаты представлены на рисунке 4.10. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что внедрение предусмотренных мер способствует выраженному снижению уровней профессиональных вредностей, особенно шума, АПФД и параметров освещения. Установлено, что после проведения указанных мероприятий воздействие ВПФ оценивается как находящееся в пределах безопасных значений и соответствует действующим нормативно-правовым требованиям в области охраны труда.

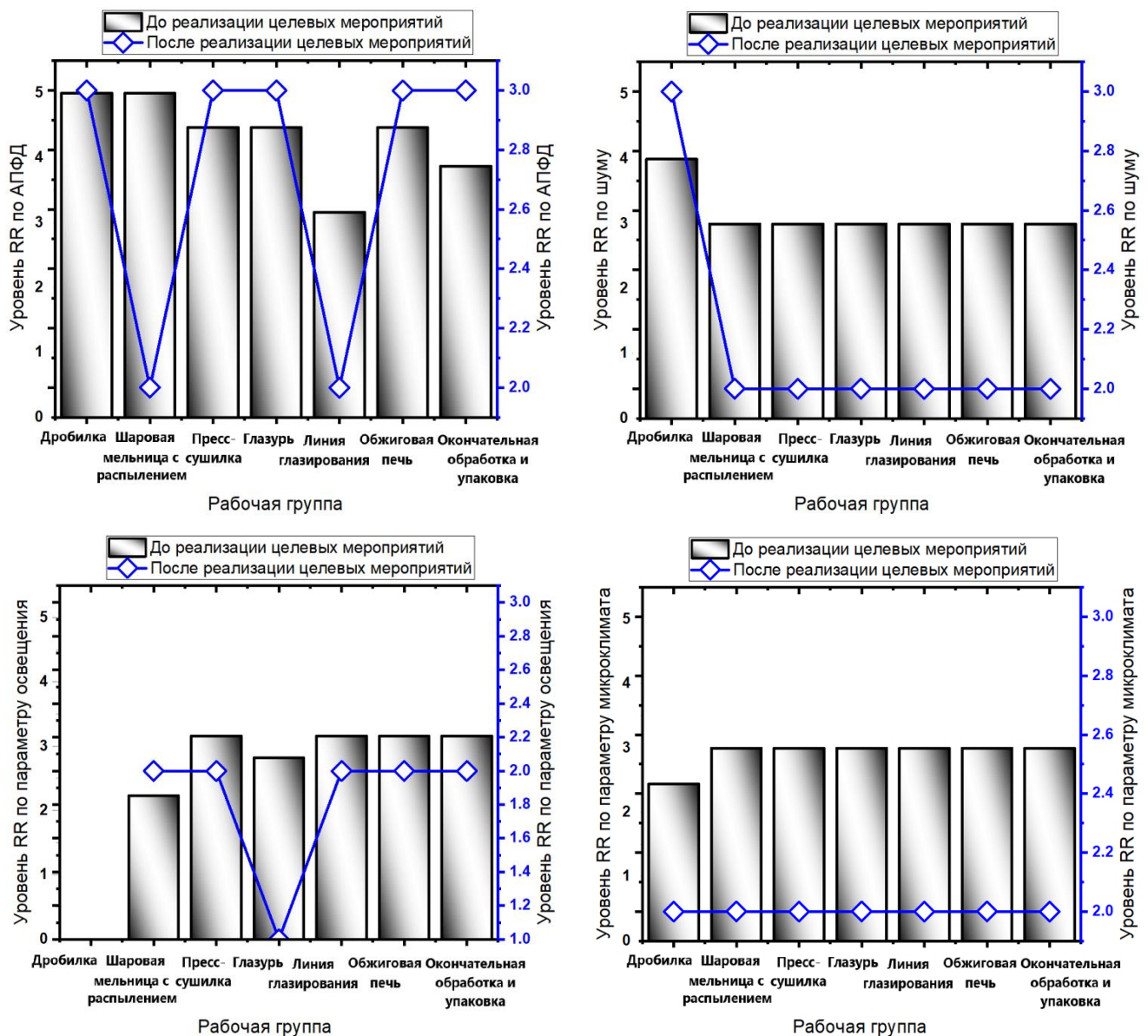


Рисунок 4.10 – Уровни RR для ВПФ после реализации целевых мероприятий (составлено автором)

Как показано на рисунке 4.11, прогнозируется, что после реализации предложенных нами комплекса целенаправленных мероприятий будет наблюдаться существенное снижение совокупного воздействия ВПФ, рассматриваемых в диссертационной работе. Во всех рабочих группах индекс CRA уменьшился в среднем в 1,5–2 раза, что подтверждает эффективность принятых мер и их значимый вклад в улучшение условий труда.

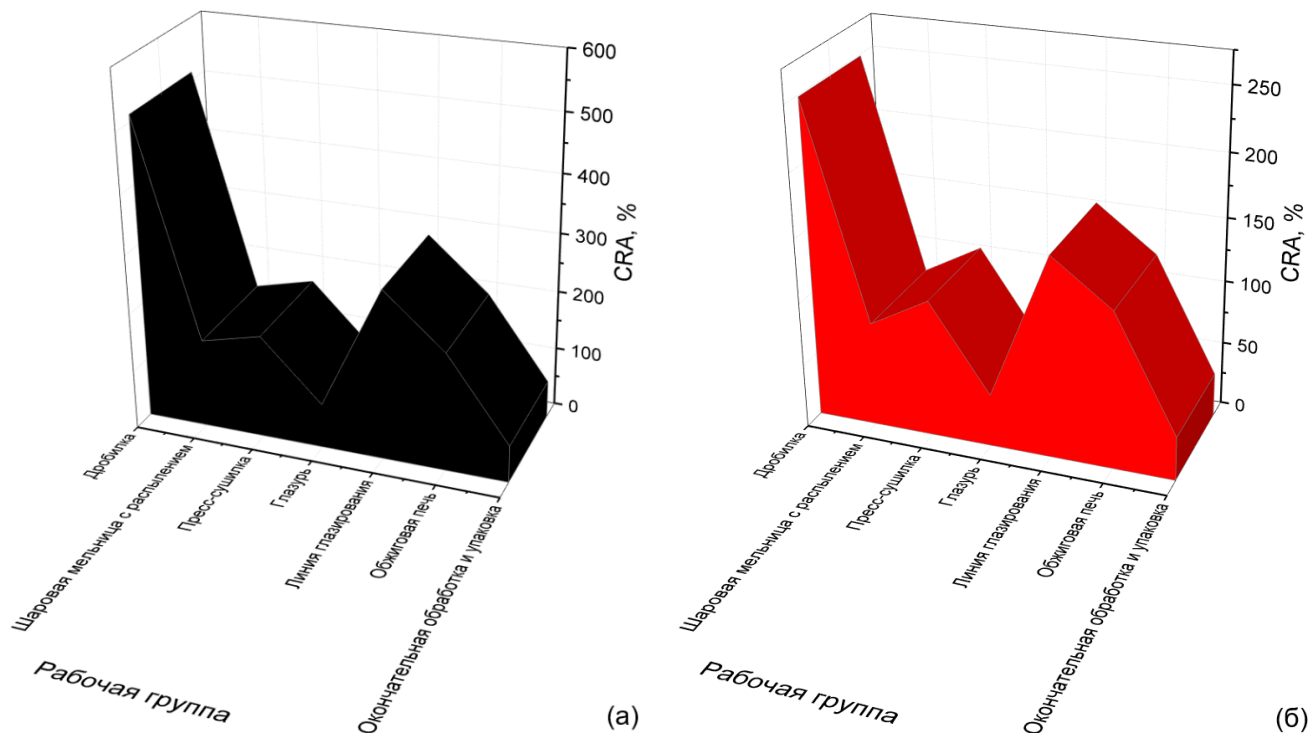


Рисунок 4.11 – Уровень CRA до (а) и после (б) реализации целевых мер (составлено автором)

В выводе, следующем после данного рисунка, следует отметить, что был выполнен расчёт CRA, разработаны компенсирующие мероприятия и подтверждена их эффективность на основе повторного расчёта CRA. Таким образом, были фактически реализованы изменения на производстве. На основании установленных воздействий и предложенных к внедрению мероприятий был получен акт внедрения.

В совокупности представленные данные позволяют сделать вывод о высокой эффективности реализованных целевых мероприятий, направленных на снижение воздействия ВПФ. Сопоставление уровней относительного риска до и после внедрения мер подтверждает устойчивую положительную динамику и достижение безопасных условий труда для работников отдельных производственных участков. Таким образом, полученные результаты служат обоснованием необходимости дальнейшего поддержания и совершенствования комплекса профилактических действий в целях минимизации профессиональных рисков и обеспечения соответствия санитарно-гигиеническим нормативам.

4.3 Выводы по четвертой главе

На основе результатов комплексной оценки рисков (Comprehensive Risk Assessment, CRA), рассчитанных для всех рабочих групп, с использованием принципа Парето была проведена классификация уровней риска, позволившая выделить приоритетные направления профилактических и компенсирующих мероприятий. Установлено, что наивысший приоритет риска имеет АПФД, для которого значения CRA составили ≥ 384 %; шум отнесён к среднему приоритету (315–384 %), тогда как параметры освещения и микроклимата — к низкому (CRA < 315 %). Среди рабочих групп наибольший приоритет риска выявлен у работников, занятых в окончательной обработке и упаковке (CRA ≥ 422 %).

Для снижения профессиональных рисков предложены инженерно-технические мероприятия, включающие модернизацию оборудования, совершенствование систем вентиляции и пылеулавливания, а также оптимизацию освещённости и микроклимата, что позволит повысить безопасность и комфорт труда.

Разработанные инженерно-технические и административные мероприятия могут быть реализованы без остановки производственного процесса. Как показывают результаты моделирования параметров освещения, оптимизация световой среды с использованием LED-технологий позволяет обеспечить нормативные уровни освещённости и повысить зрительный комфорт работников. Внедрение локальных вытяжных систем обеспечит существенное снижение концентраций АПФД на 80–90 %, что позволит достичь значений ниже предельно допустимых. Кроме того, применение средств индивидуальной защиты органов слуха с повышенным коэффициентом шумоподавления, а также реализация программы профилактики потери слуха (Hearing Loss Prevention Program, HLPP) будут способствовать значительному снижению уровня шумового воздействия.

Анализ CRA до и после реализации целевых мероприятий демонстрирует существенное снижение уровней воздействия ВПФ. В частности, сравнительные данные показывают, что во всех рабочих группах произошло уменьшение CRA в среднем на 40–55 %, что указывает на высокую эффективность внедрённых технических, административных и организационных мер. Согласно полученным в диссертационной работе экспериментальным и расчётно-аналитическим данным, наибольшее негативное воздействие вредных производственных факторов наблюдается в рабочей группе дробления. Для повышения уровня безопасности труда и снижения профессионального риска для данной группы разработаны инженерно-технические и административные мероприятия. Таким образом, можно считать, что реализация комплекса целевых мероприятий позволяет существенно уменьшить вероятность развития профессиональных заболеваний и обеспечить более безопасные условия труда для работников керамической промышленности.

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 были 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_{HC}) 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 $R_{по}$) 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аденинская, Е.Е. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике потери слуха, вызванной шумом / Е.Е. Аденинская и др. – Москва, 2015.
2. Бахминов, А. Печи Аверон для обжига керамики / А. Бахминов // Проблемы стоматологии. – 2007. – №2. – С.74-75.
3. Бойко, Ю.А. Современные способы глазурирования керамических изделий / Ю.А. Бойко и др. // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2019. – №2. – С.13-15.
4. Буслаева, В.В. Особенности обработки керамических материалов на станке с чпу / В.В. Буслаева и др. // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т.4. – №1. – С.25-29.
5. Воронин, В.А. Качество освещения и охрана труда / В.А. Воронин, Т.Л. Долгопол // Вестник Кузбасского ГТУ. – 2016. – №2 (114). – С.171-175.
6. Гулина, И. Технология и этапы изготовления керамических изделий / И. Гулина // Современные технологии: материалы конференции. – 2019. – С.13-15.
7. Джерихов, Н. Влияние микроклимата помещения на организм человека / Н. Джерихов, Е. Милованова // Научное обеспечение развития АПК : материалы конференции. – 2020.
8. Ендальцева, И.А. Оценка риска для здоровья населения, проживающего в зоне воздействия выбросов от металлургического производства / И.А. Ендальцева, В.И. Попов, В. Денисенко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т.10. – №4. – С.848-851. DOI:10.31089/1026-9428-2024-64-9-603-609.
9. Ефимова, Н.В. Оценка риска здоровью взрослого городского населения с учетом вклада производственной экспозиции / Н.В. Ефимова и др. // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – №4. – С.35-39.
10. Жежера, Н.И. Туннельная печь для обжига керамических изделий как объект автоматического управления / Н.И. Жежера, В.Р. Сабанчин // Вестник евразийской науки. – 2014. – №6 (25). – С.157. DOI:10.15862/166TVN614.
11. Ильина, Е. Специальная оценка освещения рабочих мест / Е. Ильина, Т. Частухина // Светотехника. – 2017. – №2. – С.23-27.
12. Козырев, А.С. ЕАЭС и ИРАН: состояние, проблемы и перспективы внешнеторгового сотрудничества / А.С. Козырев // Международная торговля и торговая политика. – 2024. – Т.10. – №4 (40). – С.74-93. DOI:10.21686/2410-7395-2024-4-74-93.
13. Король, Е. Анализ производственных факторов, влияющих на микроклимат в зданиях текстильной промышленности / Е. Король, Ю. Кустикова, Д. Смирнов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023. – №4 (406). – С.191. DOI:10.47367/0021-3497_2023_4_191.

14. Кох, Р. Закон Парето или принцип 80/20 / Р. Кох // *Общая и прикладная ценология*. – 2007. – №4. – С.76-79.
15. Кузьмичев, А. Экспериментальные исследования адгезии городской пыли на вертикальные поверхности зданий / А. Кузьмичев // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2018. – №11 (63). – С.33-38.
16. Лучинин, А.С. Множественная миелома: моделирование сценариев терапии с использованием метода Монте-Карло / А.С. Лучинин, А. Семенова, С. Семочкин // *Клиническая онкогематология*. – 2024. – Т.17. – №3. – С.246-255. DOI:10.21320/2500-2139-2024-17-3-246-255.
17. Мазитова, Н. Влияние производственного шума на слух: систематический обзор зарубежной литературы / Н. Мазитова и др. // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2017. – №2. – С.48-53.
18. Май, И. Мелкодисперсные пыли в атмосферном воздухе городов федерального проекта «Чистый воздух» как фактор риска здоровью / И. Май, С. Загороднов // *ЗНиСО*. – 2024. – Т.32. – №12. – С.39-47. DOI:10.35627/2219-5238/2024-32-12-39-47.
19. Малышев, Д. Метод комплексной оценки профессионального риска / Д. Малышев // *Проблемы анализа риска*. – 2008. – Т.5. – №3. – С.40-59.
20. Мельник, В.А. Защищаем птицу от теплового стресса / В.А. Мельник // *Животноводство России*. – 2014. – №1. – С.23-26.
21. Моисеев, Д. Технология производства строительной керамики из раскопок Семикаракорского городища / Д. Моисеев // *Хазарский альманах*. – 2015. – С.156-179.
22. Музалёв, С.В. Обоснование необходимости оценки состояния инвестиционной безопасности отраслей промышленности в условиях санкций / С.В. Музалёв, Н.М. Абдикеев // *Учет, анализ и аудит*. – 2025. – Т.12. – №4. – С.6-17. DOI:10.26794/2408-9303-2025-12-4-6-17.
23. Перепелица, Р. Разработка метода оценки проектных рисков на базе деревьев принятия решений и метода Монте-Карло / Р. Перепелица, И. Тарасова // *СИТОНИ-2021 : материалы конференции*. – 2021.
24. Петров, С.Б. Оценка риска здоровью населения при воздействии твердых частиц в составе атмосферных выбросов ТЭЦ / С.Б. Петров, Б.А. Петров // *Экология человека*. – 2019. – №6. – С.4-10. DOI:10.33396/1728-0869-2019-6-4-10.
25. Привалова, О.Ю. Способ оценки рисков деривативов методом Монте-Карло / О.Ю. Привалова // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. – 2021. – Т.11. – №9-1. – С.367-373. DOI:10.34670/AR.2021.29.46.046.
26. Присеко, Л.Г. Прогностический потенциал параметров функции внешнего дыхания в определении рисков развития коморбидной патологии / Л.Г. Присеко и др. // *Системные гипертензии*. – 2024. – Т.21. – №2. – С.59-64. DOI:10.38109/2075-082X-2024-2-57-62.

27. Ретнев, В. Условия труда и состояние здоровья работающих в промышленности строительных материалов РФ / В. Ретнев и др. // Гигиена и санитария. – 2017. – Т.96. – №4. – С.352-357. DOI:10.47470/0016-9900-2017-96-4-352-357.

28. Родионов, В.А. Вдыхаемая пыль в керамической промышленности / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои** // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: сборник статей Материалы 17 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, Москва, 27-31 октября 2025 года. – Москва, 2025. – Т. 1. – С. 24-26.

29. Родионов, В.А. Причины производственного травматизма в керамической промышленности / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои** // Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники. Сборник статей по итогам всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Стерлитамак: АМИ, 2024. – С.187-191.

30. Родионов, В.А. Современный подход к управлению безопасностью труда в иранской керамической промышленности / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои** // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: сборник статей Материалы 17 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, Москва, 27-31 октября 2025 года. – Москва, 2025. – Т. 1. – С.379-383.

31. Родионов, В.А. Экспериментальное исследование условий освещения в керамической промышленности / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои** // Научному прогрессу – творчество молодых – 2025 : сборник включены материалы научных исследований участников XX Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола, 25-26 апреля 2025 года. – С. 843-845.

32. Родионов, В. **Шоджаи Барджои**, С. Стратегия комплексной оценки профессиональных рисков воздействия вредных факторов производственной среды / В. Родионов, С. **Шоджаи Барджои** // Безопасность труда в промышленности. – 2025. – №10. – С.21-26. DOI:10.24000/0409-2961-2025-10-21-26.

33. Рыжова, Е. Качество освещенности и охрана труда в учебных аудиториях / Е. Рыжова, К. Кочелаевская, И. Тяпаев // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы конференции. – 2021.

34. Савушкина, О.И. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при ХОБЛ / О.И. Савушкина и др. // Пульмонология. – 2020. – Т.30. – №3. – С.285-294. DOI:10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294.

35. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025693729 Российская Федерация. Программа для определения пылевой нагрузки на работников

предприятий керамической промышленности Ирана. Заявка №2025692581: заявл. 17.11.2025: опубл. 01.12.2025 / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои.** – 30,3 МБ

36. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689544 Российская Федерация. Программа для расчета искусственного освещения рабочих мест и производственных площадей на предприятиях керамической промышленности Ирана. №2025688821: заявл. 23.10.2025: опубл. 29.10.2025 / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои.** – 1,6 МБ

37. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689450 Российская Федерация. Программа для расчета снижения уровня шума на предприятиях керамической промышленности Ирана. Заявка №2025687598: заявл. 15.10.2025: опубл. 28.10.2025 / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои.** – 35,5МБ

38. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025687512 Российская Федерация. Программа для расчета факторов риска производственного травматизма на предприятиях керамической промышленности Ирана. Заявка №2025685423: заявл. 15.09.2025: опубл. 10.10.2025 / В.А. Родионов, **С. Шоджаи Барджои.** – 1,3 МБ

39. Спирин, В. К некоторым проблемам хронического воздействия производственного шума на организм работающих (обзор литературы) / В. Спирин, А. Старшов // Анализ риска здоровью. – 2021. – №1. – С.186-196. DOI:10.21668/health.risk/2021.1.19.

40. Устьянов, В. Возможности комбинированной технологии производства керамики / В. Устьянов, В. Иващенко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2011. – №6. – С.44-45. DOI:10.21661/r-557281.

41. Фаминская, М. Учет временных неравномерностей выбросов и метеоусловий при моделировании рисков для здоровья с помощью метода Монте-Карло / М. Фаминская // Ученые записки РГСУ. – 2013. – Т.1. – №5. – С.49-53.

42. Хрупачёв, А. Количественная оценка вредного воздействия производственного шума и вибрации на здоровье человека / А. Хрупачёв и др. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – №28. – С.44-52.

43. Шамсемухаметов, И. Влияние освещённости на качество выполнения работ на предприятии / И. Шамсемухаметов // Россия молодая : материалы конференции. – 2022.

44. Шишкин, А.Н. Клиническая оценка показателей функции внешнего дыхания у пациентов с ХБП 5-й стадии / А.Н. Шишкин и др. // Нефрология. – 2019. – Т.23. – №4. – С.47-52. DOI:10.24884/1561-6274-2019-23-4-47-52.

45. **Шоджаи Барджои, С.** Комплексная оценка управления безопасностью в керамической отрасли на основе индексов FSI и S.T.S. / **С. Шоджаи Барджои** // Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: анализ задач и поиск решений: сборник статей

Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 1 августа 2025 года. – Аэтерна, 2025. – С. 35-39.

46. **Шоджаи Барджои, С.** Оценка эффективности средств защиты органов слуха для работников керамической промышленности / **С. Шоджаи Барджои** // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 15 августа 2025 года. – Аэтерна, 2025. – С. 15-20.

47. **Шоджаи Барджои, С.** Улучшение условий освещения в керамической промышленности с использованием имитационного моделирования и численного эксперимента / **С. Шоджаи Барджои** // Интеллектуальный капитал общества как драйвер инновационного развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции, Калуга, 25 августа 2025 года. – Уфа: Аэтерна, 2025. – С. 31-35.

48. Шорникова, Е. Физиологическая оценка воздействия шума на горнорабочих и меры профилактики / Е. Шорникова и др. // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – №7 (328). – С.24-29.

49. Эгеланд, М.А. Модифицированный модуль датчиков для защитного устройства для головы / М.А. Эгеланд и др. // Патент RU 2708277 C1. – 2019.

50. ACGIH. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. – 1998.

51. ACGIH. Silica, Crystalline (α -Quartz and Cristobalite). – 2020.

52. Adem, A. Occupational health and safety risk assessment in the domain of Industry 4.0 / A. Adem, E. Çakit, M. Dağdeviren // SN Applied Sciences. – 2020. – Т.2. – №5. – P.977. DOI:10.1007/s42452-020-2817-x.

53. Ahmed, T. Integrated approach for OHS risk Assessment: An Empirical study in Small enterprises / T. Ahmed et al. // Safety science. – 2023. – Vol.164. – P.106143. DOI:10.1016/j.ssci.2023.106143.

54. Alirezazadeh, M. Mineralogical and thermal analysis of the Neolithic ceramic from Ghaf Khāneh / M. Alirezazadeh, K. Roustaei, M. Emami // Journal of Archaeological Science: Reports. – 2024. – Vol.60. – P.104827. DOI:10.1016/j.jasrep.2024.104827.

55. Araújo Alves, J. Low-frequency noise and its main effects on human health—A review / J. Araújo Alves et al. // Applied sciences. – 2020. – Т.10. – №15. – P.5205. DOI:10.3390/app10155205.

56. Aryal B. Major oxidative and antioxidant mechanisms during heat stress-induced oxidative stress in chickens / B. Aryal et al. // Antioxidants. – 2025. – Т.14. – №4. – P.471. DOI:10.3390/antiox14040471.

57. Askari, A. Workplace risk factors assessment in North-Azadegan oil field based on HARPI / A. Askari et al. // Iranian Journal of Public Health. – 2023. – Т.52. – №10. – P.2157. DOI:10.18502/ijph.v52i10.13854.

58. Awada, M. The impact of color correlated temperature and illuminance levels of office lighting on stress and cognitive restoration / M. Awada et al. // *Journal of Environmental Psychology*. – 2025. – Vol.104. – P.102628. DOI:10.1016/j.jenvp.2025.102628.
59. Ayvaz, B. An integrated Fine-Kinney risk assessment model utilizing Fermatean fuzzy AHP-WASPAS for aquaculture / B. Ayvaz et al. // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2024. – Vol.186. – P.232-251. DOI:10.1016/j.psep.2024.04.025.
60. Badri, A. Occupational health and safety risks: Towards the integration into project management / A. Badri, A. Gbodossou, S. Nadeau // *Safety science*. – 2012. – T.50. – №2. – C.190-198. DOI:10.1016/j.ssci.2011.08.008.
61. Bottani, E. Safety management systems: Performance differences between adopters and non-adopters / E. Bottani, L. Monica, G. Vignali // *Safety science*. – 2009. – T.47. – №2. – C.155-162. DOI:10.1016/j.ssci.2008.05.001.
62. Ceylan, B.O. Fuzzy parameterized fuzzy soft matrices-based FMEA with ship lubricating oil system risk assessment / B.O. Ceylan, S. Memiş // *Ocean Engineering*. – 2025. – Vol.342. – P.123049. DOI:10.1016/j.oceaneng.2025.123049.
63. Chauhan, N. Risk Assessment of Retired Lithium-Ion Battery Packs: FMEA and Pugh Matrix Integration / N. Chauhan, S. Yang, S. Thiede // *Procedia CIRP*. – 2025. – Vol.135. – P.1320-1325. DOI:10.1016/j.procir.2024.12.127.
64. Chen, Q-Y. New model for OHS risk assessment based on Fermatean fuzzy linguistic sets and CoCoSo / Q-Y. Chen et al. // *Applied Soft Computing*. – 2022. – Vol.126. – P.109262. DOI:10.1016/j.asoc.2022.109262.
65. Chen, T-Y. An evolved VIKOR method for multiple-criteria compromise ranking modeling under T-spherical fuzzy uncertainty / T-Y. Chen // *Advanced Engineering Informatics*. – 2022. – Vol.54. – P.101802. DOI:10.1016/j.aei.2022.101802.
66. Desole, M.P. Life Cycle Assessment (LCA) of ceramic sanitaryware / M.P. Desole et al. // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2024. – T.21. – №2. – C.1649-1670. DOI:10.1007/s13762-023-05074-6.
67. Deutsch, L. Life cycle and risk assessment of vinasse storage dams / L. Deutsch et al. // *Sustainable Futures*. – 2022. – Vol.4. – P.100083. DOI:10.1016/j.sftr.2022.100083.
68. Ding, X. Heat stress-mediated multi-organ injury: pathophysiology and treatment strategies / X. Ding, B. Gao // *Comprehensive Physiology*. – 2025. – T.15. – №3. – P.e70012. DOI:10.1002/cph4.70012.
69. Esmailpour, M.R.M. Investigating the effect of increasing duration time of using the protective device on hearing loss among tile industry workers / M.R.M. Esmailpour et al. // *Journal of Health & Safety at Work*. – 2018. – T.7. – №4.

70. Fazlollah, A. Introducing a method for HSE risk assessment using MCDM techniques: a case study in power plant construction / A. Fazlollah et al. // *Journal of Health and Safety at Work*. – 2014. – T.4. – №1. – C.55-64.
71. Fernández-Muñiz, B. Relation between occupational safety management and firm performance / B. Fernández-Muñiz, J.M. Montes-Peón, C.J. Vázquez-Ordás // *Safety science*. – 2009. – T.47. – №7. – C.980-991. DOI:10.1016/j.ssci.2008.10.022.
72. Florez-Acevedo, S. Occupational heat exposure & mental health outcomes: a review / S. Florez-Acevedo, M.T. Blancas, J.T. Spector // *Current Environmental Health Reports*. – 2025. – T.12. – №1. – P.15. DOI:10.1007/s40572-025-00479-6.
73. Gentile, N. Evaluation of integrated daylighting and electric lighting design projects / N. Gentile et al. // *Energy and Buildings*. – 2022. – Vol.268. – P.112191. DOI:10.1016/j.enbuild.2022.112191.
74. Ghasemi, F. Applications, shortcomings, and new advances of Job Safety Analysis (JSA): findings from a systematic review / F. Ghasemi, I. Doosti-Irani, H. Aghaei // *Safety and health at work*. – 2023. – T.14. – №2. – C.153-162. DOI:10.1016/j.shaw.2023.03.006.
75. Gholi Pour, M. Identification and assessment of dangers' risk in production hall of radiator parts with JSA method / M. Gholi Pour, V. Feyzi, A. Khammar // *Occupational Hygiene and Health Promotion Journal*. – 2017. – T.1. – №1. – C.42-51.
76. Gielec, L. Evaluation of long-term occupational exposure to dust and its effect on health during production of ceramic tiles / L. Gielec, J. Izycki, H. Woźniak // *Medycyna pracy*. – 1992. – T.43. – №1. – C.25-33.
77. Glevitzky, M. A risk management approach in OHS based on the integration of a weighted composite score / M. Glevitzky et al. // *Safety*. – 2025. – T.11. – №4. – P.103. DOI:10.3390/safety11040103.
78. Golmohammadi, R. Effects of light on attention and reaction time: A systematic review / R. Golmohammadi et al. // *Journal of Research in Health Sciences*. – 2021. – T.21. – №4. – P.e00529. DOI:10.34172/jrhs.2021.66.
79. Goncalves, A. Occupational risks and health and safety management strategies in the port sector / A. Goncalves, A. Dutra, C.C. Mussi // *Safety Science*. – 2025. – Vol.184. – P.106767. DOI:10.1016/j.ssci.2024.106767.
80. Granerud, R.L. Organisational learning and continuous improvement of health and safety in certified manufacturers / R.L. Granerud, R.S. Rocha // *Safety Science*. – 2011. – T.49. – №7. – C.1030-1039. DOI:10.1016/j.ssci.2011.01.009.

81. Gregori, N.Z. Novel method for analyzing snellen visual acuity measurements / N.Z. Gregori, W. Feuer, P.J. Rosenfeld // *Retina*. – 2010. – T.30. – №7. – C.1046-1050. DOI:10.1097/IAE.0b013e3181d87e04.
82. Gul, M. A review of OHS risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions / M. Gul // *Human and ecological risk assessment*. – 2018. – T.24. – №7. – C.1723-1760. DOI:10.1080/10807039.2018.1424531.
83. Habib, R.R. Heat stress and heat-related illnesses among male and female refugee agricultural workers in Lebanon / R.R. Habib et al. // *International journal of industrial ergonomics*. – 2025. – Vol.110. – P.103836. DOI:10.1016/j.ergon.2025.103836.
84. Harder, R. Review of environmental assessment case studies blending elements of risk assessment and life cycle assessment / R. Harder et al. // *Environmental science & technology*. – 2015. – T.49. – №22. – C.13083-13093. DOI:10.1021/acs.est.5b03302.
85. Hon, C-Y. Innovative prevention strategies for occupational health hazards / C-Y. Hon, E. Bergamaschi // *Front Public Health*. – 2025. – T.13. – P.1584770. DOI:10.3389/fpubh.2025.1584770.
86. Hosseinzadeh Lotfi, F. The CRITIC method in uncertainty environment / F. Hosseinzadeh Lotfi et al. // *Fuzzy decision analysis*. – Springer, 2023. – C.309-324.
87. Huang, Q. Occupational health risk assessment of workplace solvents and noise in the electronics industry / Q. Huang et al. // *Frontiers in Public Health*. – 2023. – T.11. – P.1063488. DOI:10.3389/fpubh.2023.1063488.
88. Huang, Y. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant / Y. Huang, J. Luo, B. Xia // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – Vol.43. – P.113-121. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.12.013.
89. ISO 14001:2026. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. – 2026. – C.1.
90. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. – 2015. – C.29.
91. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines. – 2018.
92. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems. – 2018.
93. Kanu, L.K. Impacts of workplace noise exposure and mitigation strategies: a scoping review / L.K. Kanu, S.M.K. Lwara, X. Meng // *Discover Public Health*. – 2025. – T.22. – №1. – P.214. DOI:10.1186/s12982-025-00611-9.
94. Kolton, R. Occupational exposure to dust containing free silica in a ceramics factory / R. Kolton, E. Richter, R. Israeli // *Israel Journal of Medical Sciences*. – 1981. – T.17. – №4. – C.277-282.
95. Laal, F. Investigating the impact of establishing integrated management systems on accidents and safety performance indices / F. Laal et al. // *Safety and health at work*. – 2019. – T.10. – №1. – C.54-60. DOI:10.1016/j.shaw.2018.04.001.

96. Liu, R. Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review / R. Liu, H.-C. Liu, H. Shi, X. Gu // *Safety science*. – 2023. – Vol.160. – P.106050. DOI:10.1016/j.ssci.2022.106050.
97. Lockey, J.E. A longitudinal study of chest radiographic changes of workers in the refractory ceramic fiber industry / J.E. Lockey et al. // *Chest*. – 2002. – T.121. – №6. – C.2044-2051. DOI:10.1378/chest.121.6.2044.
98. Mahdinia, M. Development of a new technique for safety risk assessment in construction projects based on fuzzy AHP / M. Mahdinia et al. // *ASCE-ASME J Risk Uncertainty Eng Syst Part A Civ Eng*. – 2021. – T.7. – №3. – P.04021037. DOI:10.1061/AJRUA6.0001157.
99. Majumder, J. Comparison of workers' perceptions toward work climate and health symptoms between ceramic and iron foundry workers / J. Majumder et al. // *Indian journal of occupational and environmental medicine*. – 2016. – T.20. – №1. – C.48-53. DOI:10.4103/0019-5278.183845.
100. Marhavidas, P. International OHS management-systems standards as a frame for the sustainability / P. Marhavidas et al. // *Sustainability*. – 2018. – T.10. – №10. – P.3663. DOI:10.3390/su10103663.
101. Mehrparvar, A.H. A 2-year follow-up of spirometric parameters in workers of a tile and ceramic industry, Yazd, Iran / A.H. Mehrparvar et al. // *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. – 2013. – T.4. – №2. – C.73-79.
102. MirHosseini, S.V. The Study of Industrial Clusters Performance in Islamic Republic of Iran (The Case Study of Yazd Ceramic and Tile Cluster) / S.V. MirHosseini // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. – 2012. – Vol.2. – №3. – P.70.
103. Mirsanei, Z. The influence of occupational heat stress on serum inflammatory cytokines among traditional bakery workers in Iran / Z. Mirsanei et al. // *Plos one*. – 2024. – T.19. – №5. – P.e0302847. DOI:10.1371/journal.pone.0302847.
104. Miyauchi, H. Study on the establishment of a specific Similar Exposure Group (SEG) in personal exposure monitoring / H. Miyauchi et al. // *Journal of UOEH*. – 2018. – T.40. – №4. – C.323-329. DOI:10.7888/juoeh.40.323.
105. Mohandes, S.R. Developing a Holistic OHS risk assessment model: An application to sustainable construction / S.R. Mohandes, X. Zhang // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol.291. – P.125934. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.125934.
106. Mohammadfam, I. Assessment of security risks by FEMA and fuzzy FEMA methods, A case study: combined cycle power plant / I. Mohammadfam, K. Gholamizadeh // *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. – 2021. – T.8. – №2. – C.16-23. DOI:10.52547/johe.8.2.15.

107. Moloudpourfard, B. Updating the “cost factor” in the William fine risk assessment method following economic power / B. Moloudpourfard, M.T. Zarandi, M. Pouyakian // *Heliyon*. – 2025. – T.11. – №3. – P.e42405. DOI:10.1016/j.heliyon.2025.e42405.
108. Morrissey, M.C. Heat safety in the workplace: modified Delphi consensus to establish strategies and resources / M.C. Morrissey et al. // *Geohealth*. – 2021. – T.5. – №8. – P.e2021GH000443. DOI:10.1029/2021GH000443.
109. Naderi Alaf, A. The impact of business strategy control systems on social responsibility through intelligent market orientation in the Iranian tile and ceramic industry / A. Naderi Alaf, O. Behboodi, M. Moradi // *Quarterly journal of Industrial Technology Development*. – 2025. – T.23. – №59. – P.e732038.
110. NIOSH. Method 7601 / NIOSH Manual of Analytical Methods. – 1994.
111. Ohlander, J. Interventions to reduce exposures in the workplace: a systematic review of intervention studies over six decades / J. Ohlander, H. Kromhout, M. Van Tongeren // *Frontiers in Public Health*. – 2020. – T.8. – C.1-67. DOI:10.3389/fpubh.2020.00067.
112. Omidvari, M. Effect of safety programs on occupational accidents and diseases indices in food industries of Ilam province / M. Omidvari et al. // *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*. – 2011. – T.16. – №3. – C.2636-9346.
113. Panqing, Y. Human health-risk assessment of heavy metal-contaminated soil based on Monte Carlo simulation / Y. Panqing et al. // *Scientific Reports*. – 2023. – T.13. – №1. – P.7033. DOI:10.1038/s41598-023-33986-3.
114. Parikh, D. A special thermal stress problem in ceramic industry / D. Parikh, N. Ghodasara, N. Ramanathan // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. – 1978. – T.40. – №1. – C.63-72. DOI:10.1007/BF00420990.
115. Parsons, K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application / K. Parsons // *Industrial health*. – 2006. – T.44. – №3. – C.368-379. DOI:10.1016/S0003-4878(99)00060-5.
116. Patil, S.B. Complex Proportional Assessment (COPRAS) based MCDM paradigm for hard turning process parameters / S.B. Patil et al. // *Materials today: proceedings*. – 2022. – Vol.59. – P.835-840. DOI:10.1016/j.matpr.2022.01.142.
117. Rezaei, J. Best-worst multi-criteria decision-making method / J. Rezaei // *Omega*. – 2015. – Vol.53. – P.49-57. DOI:10.1016/j.omega.2014.11.009.
118. **Shojaee Barjoe, S.** Mathematical modeling and optimization of workplace illumination in ceramic industries (Iran) using DIALux evo / V. Rodionov, **S. Shojaee Barjoe** // *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. – 2024. – 8(15): 5918.

119. Roh, Y. Recommendation and current status in exposure assessment using monitoring data in ship building industry / Y. Roh et al. // Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. – 2001. – T.11. – №2. – C.126-134.

120. Saeedizadeh, S. Probabilistic risk assessment of occupational exposure to respirable crystalline silica among ceramic workers in Iran: a Monte Carlo simulation approach / S. Saeedizadeh et al. // Scientific Reports. – 2026. – T.16. – P.6190. DOI:10.1038/s41598-026-37121-w.

121. Sahihazar, Z.M. Probabilistic health risk assessment of occupational exposure to crystalline silica in an iron foundry in Urmia, Iran / Z.M. Sahihazar et al. // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – T.29. – №54. – C.82014-82029. DOI:10.1007/s11356-022-21487-1.

122. Sakhvidi, M.J. Exhaled breath malondialdehyde, spirometric results and dust exposure assessment in ceramics production workers / M.J. Sakhvidi et al. // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. – 2015. – T.28. – №1. – C.81-89. DOI:10.13075/ijomeh.1896.00262.

123. Santos, G. The main benefits associated with health and safety management systems certification in Portuguese SMEs / G. Santos et al. // Safety science. – 2013. – T.51. – №1. – C.29-36. DOI:10.1016/j.ssci.2012.06.014.

124. **Shojaee Barjoe, S.** Respirable dust in ceramic industries (Iran) and its health risk assessment using deterministic and probabilistic approaches / **S. Shojaee Barjoe, V. Rodionov Alekseevich** // Pollution. – 2024. – T.10. – №4. – C.1206-1226. DOI:10.22059/poll.2024.376043.2360.

125. **Shojaee Barjoe, S.** Sustainable illumination: Experimental and simulation analysis of illumination for workers wellbeing / **S. Shojaee Barjoe, S. Gendler** // Heliyon. – 2024. – T.10. – №24. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e40745.

126. **Shojaee Barjoe, S.** A fuzzy set-based hybrid SWARA-CoCoSo-William Fine framework for safety risk assessment in a ceramic granule preparation unit / **S. Shojaee Barjoe** et al. // Proceedings of the Indian National Science Academy. – 2025. – C.1-27. DOI:10.1007/s43538-025-00649-y.

127. **Shojaee Barjoe, S.** Noise climate assessment in ceramic industries (Iran) using acoustic indices and its control solutions / **S. Shojaee Barjoe, V. Rodionov, A.M. Vaziri Sereshk** // Advances in Environmental Technology. – 2025. – T.11. – №1. – C.91-115. DOI:10.22104/aet.2024.6922.1899.

128. **Shojaee Barjoe, S.** Occupational injuries associated with safety climate among ceramic industry workers in Iran / **S. Shojaee Barjoe, V. Rodionov, N. Rezaei** // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 24585. DOI:10.1038/s41598-025-09704-6.

129. **Shojaee Barjoe, S.** An Integrated Modified FMEA Shannon Entropy Combined Compromise Solution Approach to Safety Risk Assessment in Stone Crusher Unit of Ceramic Sector /

S. Shojaee Barjoe et al. // International Journal of Engineering. – 2026. – T.39. – №8. – C.1976-1987. DOI:10.5829/ije.2026.39.08b.15.

130. **Shojaee Barjoe, S.** Comprehensive risk profiling of occupational harmful factors in the ceramic industry: a case study from Iran / **S. Shojaee Barjoe, V. Rodionov** // Environmental Science and Pollution Research. – 2026. – P. 1-30. DOI:10.1007/s11356-026-37443-2.

131. Soltanzadeh, A. Predicting and determining factors of occupational accidents severity rate (ASR) using artificial neural networks (ANN) / A. Soltanzadeh, I. Mohammadfam, A. Moghimbeigi // Occupational and Environmental Medicine. – 2016. – T.4. – C.44-48.

132. Taherdoost, H. Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts / H. Taherdoost, M. Madanchian // Encyclopedia. – 2023. – T.3. – №1. – C.77-87. DOI:10.3390/encyclopedia3010006.

133. Thakkar, J.J. Stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) / J.J. Thakkar // Multi-criteria decision making. – Springer, 2021. – C.281-289.

134. Thakkar, J.J. Technique for order preference and similarity to ideal solution (TOPSIS) / J.J. Thakkar // Multi-Criteria Decision Making. – Springer, 2021. – C.83-91.

135. Thulin, A. The development and evaluation of an online hearing loss prevention program / A. Thulin, K. Kähäri, M. Malmberg // Preventive Medicine Reports. – 2023. – Vol.35. – P.102298. DOI:10.1016/j.pmedr.2023.102298.

136. Wang, D. Association between shift work and hearing loss: The Dongfeng-Tongji cohort study / D. Wang et al. // Hearing research. – 2019. – Vol.384. – P.107827. DOI:10.1016/j.heares.2019.107827.

137. Wang, Z. The impact of sound pressure level, loudness, roughness, sharpness, articulation index, hand vibration, and seat vibration on subjective comfort perception of tractor drivers / Z. Wang et al. // Symmetry. – 2023. – T.15. – №7. – P.1317. DOI:10.3390/sym15071317.

138. Wu, H. Using statistical and probabilistic methods to evaluate health risk assessment: a case study / H. Wu, B. Chen // Toxics. – 2014. – T.2. – №2. – C.291-306. DOI:10.3390/toxics2020291.

139. Yarahmadi, R. Multidimensional assessment of sustainability and competitiveness in the ceramic tile and natural stone industries / R. Yarahmadi, A.A. Asadi // Scientific Reports. – 2025. – T.15. – №1. – P.30807. DOI:10.1038/s41598-025-16739-2.

140. Zaki, G.R. Occupational safety of different industrial sectors in Khartoum State, Sudan. Part 1: Safety performance evaluation / G.R. Zaki et al. // The Journal Of The Egyptian Public Health Association. – 2012. – T.87. – №5-6. – C.131-136.

141. Zare, S. A comparison of the correlation between heat stress indices (UTCI, WBGT, WBDT, TSI) and physiological parameters of workers in Iran / S. Zare et al. // *Weather and Climate Extremes*. – 2019. – Vol.26. – P.100213. DOI:10.1016/j.wace.2019.100213.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

РИСУНКИ

Рисунок 1.1 – Распределение керамических производств по провинциям Ирана.

Рисунок 1.2 – Диаграмма производства, потребления и соотношения потребления к производству керамики.

Рисунок 1.3 – Географическое расположение исследуемого предприятия керамической промышленности в Иране.

Рисунок 1.4 – Схема полного технологического цикла от добычи сырья до конечной продукции.

Рисунок 1.5 – Структура организации производства керамических изделий: участки, рабочие места и рабочие группы.

Рисунок 1.6 – Преобладающие вредные факторы в керамической промышленности.

Рисунок 1.7 – Количество случаев профессиональных заболеваний и общее количество потерянных дней в период с 2020 по 2024 год в керамической промышленности.

Рисунок 1.8 – Коэффициент AFR в керамической промышленности на 2020-2024 годы.

Рисунок 1.9 – Коэффициент ASR случаев в керамической промышленности на 2020-2024 годы.

Рисунок 1.10 – Коэффициент тяжести–частоты несчастных случаев в керамической промышленности на 2020-2024 годы.

Рисунок 1.11 – Показатель S.T.S в керамической промышленности на 2020-2024 годы.

Рисунок 1.12 – Система оценки к риск-ориентированного подходам.

Рисунок 1.13 – Количество статей по тематике риск-ориентированного подходам, опубликованных с 1984 по 2024 год.

Рисунок 1.14 – Методы оценки рисков и взвешивание критериев.

Рисунок 1.15 – Этапы LCRA.

Рисунок 2.1 – Детерминистический и вероятностный подходы к оценке риска.

Рисунок 2.2 – Параметры индекса $R_{по}$.

Рисунок 2.3 – Параметры, необходимые для составления индекса $R_{по}$.

Рисунок 2.4 – Параметры индекса $R_{пм}$.

Рисунок 2.5 – Матрица RR.

Рисунок 2.6 – Алгоритм формирования комплексного индекса риска.

Рисунок 3.1 – Распределение уровней АПФД (SiO_2) по рабочим группам в керамической промышленности.

Рисунок 3.2 – Примеры анализа функции дыхания работников керамической промышленности Ирана.

Рисунок 3.3 – Значения параметров спирометрии по рабочим группам.

Рисунок 3.4 – Значения gs между концентрацией SiO_2 и показателями функции дыхательной системы работников.

Рисунок 3.5 – Распределение уровней шума по рабочим группам в керамической промышленности.

Рисунок 3.6 – Средние пороги слуха рабочих групп на частотах 500–8000 Гц для правого (а) и левого (б) уха.

Рисунок 3.7 – Распределение категорий состояния слуха работников (составлено автором).

Рисунок 3.8 – Значения gs между уровнями воздействия шума и потерей слуха на правом (а) и левом (б) ухе.

Рисунок 3.9 – Распределение уровней E по рабочим группам в керамической промышленности.

Рисунок 3.10 – Нескорректированная и скорректированная острота зрения у рабочих различных групп: шаровая мельница (а), прессование (б), глазуровка (в), глазировочная линия (г), печь (д), окончательная обработка и упаковка (е). Обозначения: R-SC – нескорректированная острота зрения правого глаза; R-CC – скорректированная острота зрения правого глаза; L-SC – нескорректированная острота зрения левого глаза; L-CC – скорректированная острота зрения левого глаза.

Рисунок 3.11 – Распределение уровней индекса THC по рабочим группам в керамической промышленности.

Рисунок 3.12 – Методы оценки риска по одному фактору.

Рисунок 3.13 – Визуализированный результат в формате рабочего окна Oracle Crystal Ball, показывающий риск развития бронхолегочных заболеваний при CSF равном $1,85 \times 10^{-5}$.

Рисунок 3.14 – Визуализированный результат в формате рабочего окна Oracle Crystal Ball, показывающий риск развития бронхолегочных заболеваний при CSF равном $6,80 \times 10^{-5}$.

Рисунок 3.15 – Оценочный риск развития бронхолегочных заболеваний по индексу HQ.

Рисунок 3.16 – Количественная оценка рисков воздействия шума в рабочих группах с использованием индекса W_{HC} .

Рисунок 3.17 – Количественная оценка риска теплового воздействия в рабочих группах.

Рисунок 3.18 – Оценочные значения риска недостаточного освещения на рабочих местах.

Рисунок 3.19 – Матрица риска ВПФ в керамической промышленности.

Рисунок 3.20 – Значение RR для ВПФ.

Рисунок 3.21 – Уровни риска для респирабельного АПФД (SiO_2), шума, E и ПМ в различных группах работы на основе результатов матрицы оценки риска.

Рисунок 3.22 – Значение RR факторов для каждой из рабочих групп.

Рисунок 3.23 – Карта пространственного распределения уровня CRA по рабочим группам.

Рисунок 4.1 – Карта приоритизации рабочих групп и ВПФ для внедрения целенаправленных мер в керамической промышленности.

Рисунок 4.2 – Пример основных инженерно-технических мероприятий по снижению воздействия ВПФ.

Рисунок 4.3 – Иллюстрация метода мокрого пылеподавления с частичным ограждением при разгрузке материала в дробилку (а). На рисунке показаны синие «веерные узоры», обозначающие водяные распылители (б).

Рисунок 4.4 – Система сухого пылеподавления при разгрузке конвейера в бункер дробилки (а), на загрузочном лотке (б) и на разгрузке щёковой дробилки на ленточный конвейер (в).

Рисунок 4.5 – Прогнозируемый уровень АПФД до (а) и после (б) установки оборудования.

Рисунок 4.6 – Оценка уровня звука во всех рабочих группах с использованием беруш и без них с индексом снижения звука $NRR = 28$ дБ(А). Рабочие места: дробилка (а), шаровая мельница с распылением (б), пресс-сушилка (в), глазурь (г), линия глазурирования (д), обжиговая печь (е) и окончательная обработка и упаковка (ё).

Рисунок 4.7 – Оптимизированное освещение рабочих мест в программном обеспечении DIALux.

Рисунок 4.8 – Средние уровни освещенности до (а) и после (б) применения рекомендаций по оптимизации потребностей рабочих в освещении.

Рисунок 4.9 – Степень желательности освещённости для рабочих мест: шаровая мельница с распылением (а), пресс-сушилка (б), глазурь (в), линия глазурирования (г), обжиговая печь (д) и окончательная обработка и упаковка (е). Символы: (А) коэффициент светопотерь, (В) высота установки светильников, (С) количество светильников и (D) тип светильников.

Рисунок 4.10 – Уровни RR для ВПФ после реализации целевых мероприятий.

Рисунок 4.11 – Уровень CRA до (а) и после (б) реализация целевых мер.

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1.1 – Рабочие группы и их функции в керамической промышленности.

Таблице 1.2 – Интерпретация показателя FSI и уровень безопасности организации.

Таблице 1.3 – Интерпретация показателя S.T.S.

Таблица 1.4 – Количественная оценка уровня воздействия на здоровье.

Таблица 1.5 – Количественная оценка соотношения воздействия.

Таблица 1.6 – Количественная оценка условий труда.

Таблица 1.7 – Классификация уровней риска на основе индекса риска.

Таблица 1.8 – Классы качества системы менеджмента охраны труда и техники безопасности.

Таблица 1.9 – Комплексная матрица оценки риска для модели оценки профессиональных заболеваний.

- Таблица 1.10 – Классы условий труда, отнесенные к $I_{пз}$.
- Таблица 1.11 – Среднее время сокращения продолжительности жизни в зависимости от класса условий труда.
- Таблица 2.1 – Параметры и расчётные зависимости индекс R_E .
- Таблица 2.2 – Интерпретация результатов оценки риска недостаточной освещённости.
- Таблица 2.3 – Шкала оценки риска по индексу $R_{пм}$.
- Таблица 2.4 – Шкала ER/DR для стандартизации значений ВПФ.
- Таблица 2.5 – Классификация HR.
- Таблица 2.6 – Уровни RR для ВПФ.
- Таблице 2.7 – Приоритезация ВПФ и рабочих групп на основе принципа Парето.
- Таблица 3.1 – Референсные диапазоны параметров функции внешнего дыхания по стандартам ATS.
- Таблица 3.2 – Источники излучения шума и характеристики излучаемого шума.
- Таблица 3.3 – Классификация состояния слуха в рабочих группах по референсным диапазонам ANSI.
- Таблица 3.4 – Допустимые значения индекса TNC в соответствии с нормативными документами Ирана.
- Таблица 3.5 – Переменные факторов риска, связанные с канцерогенезом и неканцерогенезом рисков.
- Таблица 3.6 – Значения составляющих параметров индекса $W_{нс}$.
- Таблица 3.7 – Ранжирование рабочих групп по одному фактору
- Таблица 3.8 – Расчётные значения ER (DR) для основных ВПФ.
- Таблица 4.1 – Уравнения, используемые в программном обеспечении DIALux для оптимизации освещения рабочих мест.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт о внедрении результатов диссертации

شماره: GT/Ex/04/11709
تاریخ: ۶ مهر ۱۴۰۲
پیوست: —

گلدیس کاشی

سهامی خاص
Утверждаю

Генеральный директор керамической
промышленности «Голдис»
Мохаммад Хаят
«27» декабря 2025 г.

АКТ

о внедрении результатов
кандидатской диссертации
Шоджаи Барджои Саида
по научной специальности 2.10.3 – Безопасность труда

Специальная комиссия филиала керамической промышленности
«Голдис» в составе:

Председатель комиссии:

Мохаммад Хаят – Управляющий филиалом, к.т.н.

Члены комиссии:

Акбар Аджурло – Заместитель управляющего филиалом.

Неда Резаи – Менеджер компании по охране труда, технике безопасности и
охране окружающей среды (HSE).

Сейед Алиреза Хоссейни – Технический менеджер филиала.

Составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему
«Разработка метода комплексной оценки безопасности труда в керамической
промышленности Ирана на основе профессионального риска»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук,
использованы в керамической промышленности «Голдис» для повышения
эффективности системы управления охраной труда при производстве
керамики.

Разработанная в диссертации методика, основанная на использовании
риск ориентированного подхода, дает возможность осуществить выбор
приоритетных адресных мероприятий для превентивного снижения
производственного риска и профессиональных заболеваний рабочих на
предприятиях керамической промышленности «Голдис».

Председатель комиссии

Управляющий филиалом, к.т.н.

Члены комиссии:

Заместитель управляющего филиалом

Менеджер компании по охране труда

Технический менеджер филиала

Мохаммад Хаят

Акбар Аджурло

Неда Резаи

Сейед Алиреза Хоссейни

تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، ساختمان CBC شماره ۳۴، طبقه چهارم
کدپستی: ۱۴۳۵۸۵۴۷۷۸ تلفن: ۸۷۴۰ (۰۹۸۲۱) فکس: ۸۸۰۶۶۶۰۰ (۰۹۸۲۱)
www.goldistile.com info@goldistile.com

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Свидетельства на программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025687512

**Программа для расчета факторов риска
производственного травматизма на предприятиях
керамической промышленности Ирана**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Родионов Владимир Алексеевич (RU), Саид
Шоджаи Барджои (RU)*

Заявка № 2025685423

Дата поступления 15 сентября 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 октября 2025 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025689450

**Программа для расчета снижения уровня шума на
предприятиях керамической промышленности Ирана**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Родионов Владимир Алексеевич (RU), Саид
Шоджаи Барджои (RU)*

Заявка № 2025687598

Дата поступления 15 октября 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 28 октября 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570be417...d521b4b8818e75d29506
Владелец **Зубов Юлий Сергеевич**
Действителен с 08.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025689544

**Программа для расчета искусственного освещения
рабочих мест и производственных площадей на
предприятиях керамической промышленности Ирана**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Родионов Владимир Алексеевич (RU), Саид
Шоджаи Барджои (RU)*

Заявка № 2025688821

Дата поступления 23 октября 2025 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 29 октября 2025 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e4e7...02510468818e75c29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025693729

**Программа для определения пылевой нагрузки на
работников предприятий керамической
промышленности Ирана**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Родионов Владимир Алексеевич (RU), Саид
Шоджаи Барджои (RU)*

Заявка № 2025692581

Дата поступления 17 ноября 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 01 декабря 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e4f7_d4-02531b4b8818e75f29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов