

УДК 614.8.084:669

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22890255>

**Е. И. Харлова, В. В. Лихачева, канд. техн. наук,
М. В. Коновальчик, канд. техн. наук**

**Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка**

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ: АНАЛИЗ РИСКОВ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Статья посвящена комплексному анализу опасных факторов производственной среды металлургических предприятий и разработке стратегий по их минимизации. Рассмотрены ключевые риски, включая тепловые нагрузки, химическое загрязнение, шумовое воздействие и их влияние на здоровье персонала и экологию. Представлены современные методы оценки опасностей, такие как расчёт индекса тепловой нагрузки среды для тепловой нагрузки и моделирование рассеивания вредных веществ. Особое внимание уделено инновационным технологиям, включая автоматизацию, роботизацию и системы мониторинга в реальном времени. Предложены практические рекомендации по повышению безопасности и снижению экологической нагрузки.

Ключевые слова: металлургическое производство, промышленная безопасность, экологическая безопасность, тепловой стресс, шумовое загрязнение, автоматизация, роботизация, мониторинг производственной среды

Для цитирования: Харлова, Е. И. Современные подходы к обеспечению безопасности и экологичности металлургических производств: анализ рисков и инновационные решения / Е. И. Харлова, В. В. Лихачева, М. В. Коновальчик // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2026. – № 2(57). – С. 41–50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.22890255>.

Введение

Современная металлургическая промышленность играет ключевую роль в экономике многих государств, включая Российскую Федерацию. Однако наряду с положительными экономическими эффектами металлургическое производство характеризуется высокой степенью опасности и негативного воздействия на окружающую среду. Производственная среда металлургического предприятия насыщена вредными и опасными факторами, которые могут приводить к травмам, профессиональным заболеваниям и загрязнению окружающей среды. Металлургические предприятия зачастую становятся источниками значительных объёмов загрязнений, создающих угрозу человеческому благополучию и состоянию экологических систем. Таким образом, актуальным направлением научных исследований становится детальное изучение параметров состояния производственной среды и выявление потенциально опасных зон на предприятиях металлургического сектора [1]. Подобные исследования необходимы для разработки практических решений, направленных на уменьшение вреда экологии и обеспечение безопасной трудовой деятельности. Понимание особенностей производственной среды помогает оптимизировать технологический процесс, разрабатывать эффективные стратегии борьбы с неблагоприятными условиями труда и предотвращать возникновение экстремальных ситуаций. Особое внимание следует уделить изучению динамики изменения качественных характеристик рабочей среды и выявлению критически значимых участков предприятий, отличающихся наибольшими показателями риска.

Анализ публикаций

Вопросам безопасности труда и экологической безопасности на металлургических предприятиях посвящено значительное количество научных работ. Современные научные исследования, посвящённые вопросам влияния параметров производственной среды металлургических предприятий, представлены в работах В. В. Блиникова, М. Н. Кирьянова, В. П. Плеханов, О. Л. Маркова, Е. В. Иванова, А. Г. Чеботарёва, Д. Д. Семенцова, Ш. Абикеновой [2–5]. Направление научного поиска заключается в изучении вопросов техносферы металлургических предприятий и идентификации зон, представляющих особую опасность для жизнедеятельности человека и сохранения экологического равновесия. Обобщив материалы представленных публикаций, можно заключить, что современное понимание проблемы параметров состояния производственной среды в металлургическом комплексе базируется на многогранном подходе, включающем аспекты экологии, здравоохранения, экономической целесообразности и технической надёжности. Этот подход является основой для дальнейшего совершенствования методологии мониторинга и выработки стратегических решений по управлению рисками.

Цель работы

Интеграция накопленного опыта предшествующих исследований в единый концептуально-методологический аппарат, направленный на оценку текущего состояния производственной среды и выявление потенциально опасных зон на объектах металлургического комплекса.

Основополагающей задачей является разработка практико-ориентированных предложений, обеспечивающих повышение уровня безопасности и экологической устойчивости предприятий металлургической отрасли.

Основная часть

Производственная среда металлургических предприятий представляет собой сложную систему взаимодействий различных физических, химических и биологических факторов, оказывающих влияние на жизнедеятельность и здоровье человека. Металлургические производства относятся к категории объектов с повышенным уровнем опасности, что обусловлено совокупностью вредных и экстремальных факторов производственной среды. Технологические процессы в данной отрасли сопровождаются:

- воздействием экстремальных температур – рабочие зоны доменных, сталеплавильных и прокатных цехов характеризуются значительными тепловыми нагрузками (до 40–50 °С и выше), а также интенсивным инфракрасным излучением (до 14 000 Вт/м²);
- наличием токсичных газов и аэрозолей – в воздухе рабочей зоны присутствуют угарный газ (CO), сернистый ангидрид (SO₂), оксиды азота (NO_x), а также металлическая и угольная пыль, что повышает риск острых и хронических профессиональных заболеваний работников;
- динамичными и сложными производственными процессами – высокая механизация и автоматизация не исключают риска аварийных ситуаций, связанных с разливами расплавленного металла, разрушением оборудования или нарушениями технологических режимов [6].

Данные факторы формируют дискомфортный и опасный микроклимат, который может привести к:

- тепловым поражениям (перегрев, тепловой удар, обезвоживание);
- заболеваниям дыхательной системы (пневмокониозы, бронхиты, астма);
- травматизму и авариям из-за снижения концентрации внимания на фоне неблагоприятных условий труда.

Основными компонентами окружающей среды, испытывающими негативное воздействие металлургического производства, являются атмосфера, гидросфера и литосфера. Атмо-

сфера подвергается значительным нагрузкам вследствие выбросов газообразных соединений (CO , SO_2 , NO_x), взвешенных частиц (металлическая пыль, сажа), летучих органических соединений.

Гидросфера активно используется в качестве резервуара сброса сточных вод, содержащих остатки металлов, кислот и щелочей. Недостаточная очистка воды перед её возвращением в природный цикл ведёт к нарушению биологического баланса водоёмов и отрицательно сказывается на состоянии местной флоры и фауны.

Литосферу затрагивает проблема накопления больших объёмов шлаков и прочих твёрдых отходов производства, формируемых в результате переработки металлосодержащего сырья. Загрязнённая почва теряет плодородие, препятствует развитию растительности и повышает риск проникновения токсинов в организм животных и человека [7].

Важнейшим этапом в изучении параметров производственной среды является выбор адекватных методов измерения и моделирования происходящих процессов. Рассмотрим некоторые из применяемых подходов подробнее.

Расчёт концентрации вредных веществ в атмосфере осуществляется методами численного моделирования, основанными на теории диффузионных потоков и законах переноса массы. Один из известных подходов представлен формулой Гауссова диспергирования примесей:

$$C_{(x, y, z, t)} = \frac{M}{\sqrt{(2\pi)^n \cdot \sigma_x \sigma_y \sigma_z}} \cdot e^{-\left[\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right]}, \quad (1)$$

где $C_{(x, y, z, t)}$ – массовая концентрация вещества в точке пространства и времени, мг/м^3 ,

M – масса выброса вещества, тонн,

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – коэффициенты рассеяния вдоль осей координат,

x, y, z – координаты точки в пространстве.

Используя данную формулу, можно вычислить концентрацию конкретных загрязняющих веществ в заданной зоне предприятия и оценить их вклад в общий уровень загрязнённости атмосферы.

Расчёт тепловой нагрузки среды характеризуется индексом тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс). Этот показатель оценивает комбинированное воздействие температуры, влажности и скорости движения воздуха на организм человека. Используется для определения уровня теплового стресса в горячих цехах (доменных, сталеплавильных, прокатных и др.) [8].

$$TNC = 0,7 \cdot t_{\text{вл}} + 0,3 \cdot t_{\text{сух}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{вл}}$ – температура влажного термометра, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{сух}}$ – температура сухого термометра, $^{\circ}\text{C}$.

При анализе исследований, проведенных Е. Л. Базаровой, А. А. Федорук, Н. А. Рослой и др. рассмотрена оценка профессионального риска для здоровья работников металлургического предприятия, подвергающихся воздействию нагревающего микроклимата [9]. Основными факторами риска являлись повышенная температура воздуха рабочей зоны и интенсивное тепловое излучение. На изучаемых рабочих местах микроклимат оценён как нагревающий. Профессиональный риск по гигиеническим критериям категоризовался от пренебрежимо малого (класс 2) до очень высокого (класс 3.4).

Выявлена достоверная связь между воздействием теплового излучения и повышенной заболеваемостью органов пищеварения, кожи, мочеполовой системы, а также артериальной гипертензией. У женщин, работающих в условиях нагревающего микроклимата, отмечен повышенный риск гинекологической патологии и осложнений беременности. У мужчин чаще

регистрировались заболевания сердечно-сосудистой системы, включая гипертонию.

Прогностическая модель показала, что при классах условий труда 3.3–3.4 возможно снижение работоспособности на 29–36,5 % и накопление тепла в организме. Выявлены гендерные различия: у мужчин преобладали сердечно-сосудистые нарушения, у женщин – заболевания пищеварительной системы. Сочетание нагревающего микроклимата с курением усиливало негативное влияние на показатели крови, такие как лейкоцитоз и уровень гемоглобина. Повышенная температура способствует ускорению утомляемости, снижению концентрации внимания и повышению риска производственного травматизма. Для работников металлургического производства, занятых в условиях нагревающего климата, особенно важны меры по профилактике перегрева: организация рационального режима труда и отдыха, обеспечение доступа к питьевой воде, использование средств индивидуальной защиты и вентиляционных систем.

Шумовое загрязнение также относится к числу важнейших факторов, влияющих на психоэмоциональное состояние и производительность труда работников металлургических предприятий. Измеряется оно специальными приборами, называемыми шумомерами, регистрирующими звуковое давление в децибелах. Среднее значение, превышающее порог комфортности в 85 дБ (А), считается опасным для здоровья и требует принятия специальных защитных мер.

На металлургических производствах отмечаются следующие особенности шумового загрязнения:

- широкий частотный диапазон (от 30 до 10 000 Гц);
- высокий уровень звукового давления (до 110–120 дБ);
- постоянный характер воздействия (8–12 часов в смену);
- комбинированное воздействие с другими вредными факторами (вибрация, тепловое излучение).

Ключевыми источниками шумового загрязнения выступают: технологическое оборудование; транспортные системы; гидравлические и пневматические установки; процессы обработки металлов.

Суммарный уровень шума при совместном действии нескольких источников с различным уровнем шума определяется по формуле:

$$L_{\text{сум}} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \quad (3)$$

где L_i – уровень шума от i -го источника, дБ (А);

n – число источников шума.

В работе [10] представлены результаты исследования профессионального риска, связанного с воздействием шума на работников металлургического предприятия, специализирующегося на производстве титановых сплавов. Исследование охватывало 18 профессиональных групп и основывалось на методологии НИИ медицины труда имени академика Н. Ф. Измерова. Проанализированы данные за 5 лет, включая профессиональную заболеваемость, распространенность хронических заболеваний и показатели временной утраты трудоспособности. Результаты демонстрируют снижение профессиональной заболеваемости благодаря модернизации оборудования, а также влияние шума на развитие различных патологий.

Воздействие шума значительно повышало уровни общесоматической патологии – как хронической, так и с временной утратой трудоспособности. В целом по предприятию у работников шумовых профессий достоверно увеличивались распространенности хронической общесоматической патологии (РХП) и заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) болезнями уха, кожи, костно-мышечной системы; РХП нервной системы, органов дыхания, психическими расстройствами; распространённость повышенного артериального давления, гипергликемии, лейкоцитоза; ЗВУТ болезнями мочеполовой системы, глаза,

гинекологической патологии (рисунок). ЗВУТ болезнями уха и мочеполовой системы отвечала критериям профессиональной обусловленности при средней степени связи с условиями труда (относительный риск RR 1,54 и 1,65, соответственно) (таблица).

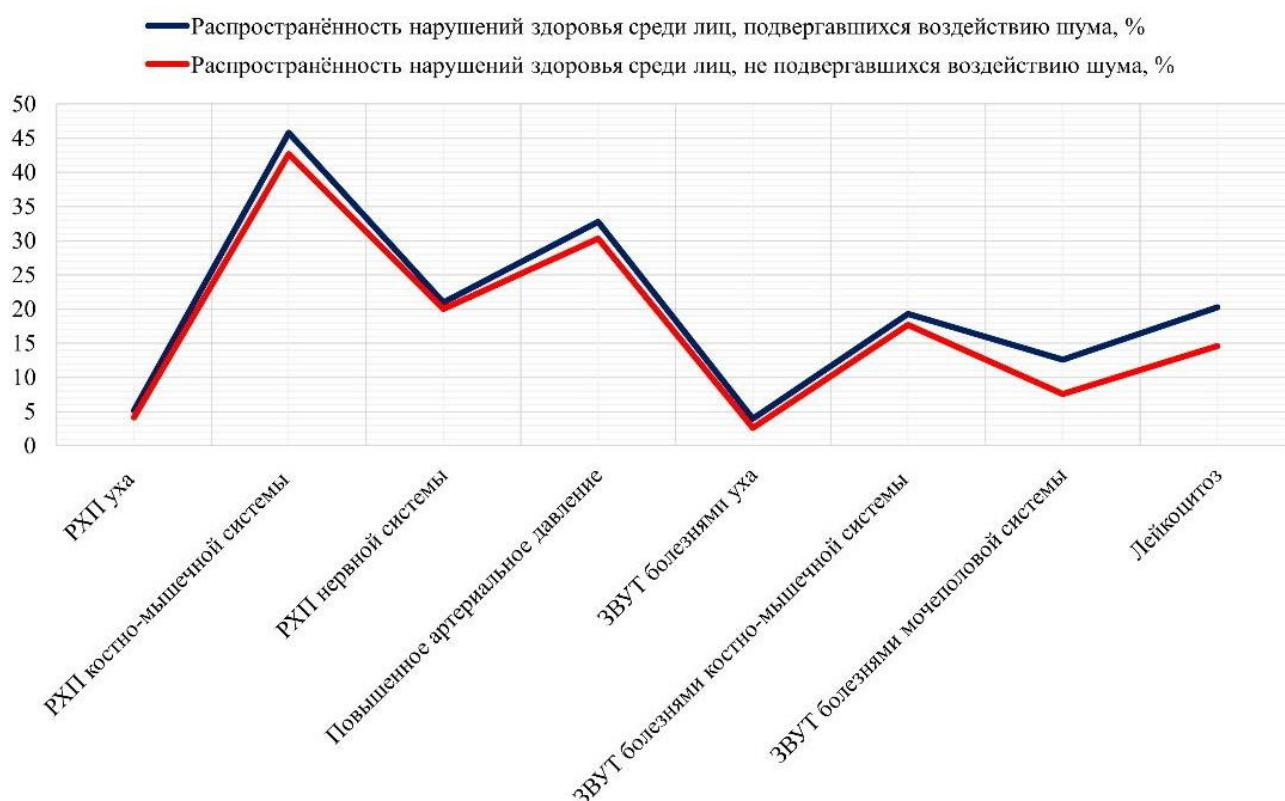


Рисунок – Зависимость воздействия шума на распространенность нарушений здоровья среди работников металлургического предприятия

Таблица – Показатели риска при оценке влияния шума на заболеваемость

Нарушения здоровья	AR – добавочный риск (атрибутивный риск, разница рисков)	RR – относительный риск	CI _{RR} – 95 %-ный доверительный интервал относительного риска	СО – степень обусловленности нарушений здоровья, вызванных шумом (м – малая, с – средняя)	χ^2 – критерий соответствия
РХП уха	1	1,26	1,11–1,43	м	12,8
РХП костно-мышечной системы	3,1	1,07	1,04–1,10	м	18,5
РХП нервной системы	1	1,05	0,99–1,11	м	2,77
Повышенное артериальное давление	2,5	1,08	1,04–1,13	м	13,5
ЗВУТ болезнями уха	1,4	1,54	1,41–1,68	с	88,6
ЗВУТ болезнями костно-мышечной системы	1,6	1,09	1,05–1,13	м	23,1
ЗВУТ болезнями мочеполовой системы	5	1,65	1,57–1,73	с	396,5
Лейкоцитоз	5,7	1,39	1,28–1,51	м	60

Внедрение автоматизированных систем управления и роботизированных комплексов значительно повышает безопасность металлургического производства, позволяя полностью исключить присутствие человека в опасных зонах. Это снижает риски, связанные с воздействием высоких температур, токсичных газов и других вредных факторов окружающей среды. К примеру, автоматизированная загрузка шихты, роботизированные комплексы для обслуживания доменных печей и дистанционное управление процессом разлива чугуна обеспечивают эффективное и безопасное выполнение ключевых технологических операций. Кроме того, роботизация позволяет оперативно и надежно выполнять задачи по дроблению шлака, удалению настылей в печах и ковшах, а также проводить сварочные и демонтажные работы, что существенно повышает производительность и снижает вероятность производственных травм. Внедрение таких технологий не только повышает безопасность, но и обеспечивает новый уровень точности и эффективности производственных процессов, что особенно важно в условиях ужесточающихся экологических норм и требований к качеству продукции.

Современные системы мониторинга и контроля микроклимата и загазованности основаны на использовании передовых датчиков и сенсоров, интегрированных в единую автоматизированную сеть. Они обеспечивают непрерывный контроль в режиме реального времени таких параметров, как температура, влажность, скорость воздушного потока, а также концентрация вредных веществ в рабочей зоне, включая угарный газ (CO), углекислый газ (CO_2), диоксид серы (SO_2) и частицы пыли. При обнаружении превышения предельно допустимых значений автоматически активируются системы вентиляции и оповещения, что позволяет мгновенно реагировать на ухудшение условий труда. Данная технология способствует предотвращению отравлений, перегрева и других неблагоприятных воздействий на здоровье работников, одновременно обеспечивая комфортные и безопасные условия работы. Кроме того, интеграция таких систем с аналитическими платформами позволяет проводить детальный анализ микроклимата и загазованности, оптимизируя работу вентиляционных установок и снижая энергозатраты предприятия.

Комплексные системы видеонаблюдения, развернутые в стратегически важных зонах металлургических предприятий и дополненные интеллектуальным аналитическим программным обеспечением, обеспечивают непрерывный мониторинг безопасности. Эта технология позволяет в режиме 24/7 контролировать соблюдение правил и норм охраны труда, выявлять предпосылки к возникновению опасных ситуаций и незамедлительно реагировать на любые инциденты.

Система включает в себя расширенные возможности, такие как:

- Распознавание лиц: для строгого контроля доступа в определенные зоны, предотвращая проникновение посторонних лиц и обеспечивая учёт рабочего времени.
- Анализ поведения персонала: выявляет отклонения от установленных процедур и регламентов, сигнализируя о потенциальных нарушениях техники безопасности до того, как они приведут к происшествиям.
- Автоматическое обнаружение дыма и огня: обеспечивает мгновенное оповещение о возникновении пожара, позволяя оперативно принять меры по его тушению и эвакуации персонала.

Внедрение таких систем значительно повышает дисциплину труда, снижает вероятность несанкционированного доступа, обеспечивает быстрый отклик на чрезвычайные ситуации и, как следствие, способствует повышению безопасности и эффективности производственного процесса.

При проведении обследования территории металлургического предприятия особое внимание уделяется зонам с повышенным уровнем риска возникновения нежелательных событий. Такие участки классифицируются согласно характеру возможной опасности и включают в себя:

- Зоны высокого риска взрыва и пожара из-за присутствия воспламеняющихся веществ и горюче-взрывчатых смесей.
- Пространства с высоким уровнем химического заражения вследствие случайных разливов токсичных жидкостей или повреждения ёмкостей с агрессивными веществами.
- Работающие помещения с избыточным шумом и вибрациями, способные привести к профессиональным заболеваниям и физическим нарушениям.
- Объекты, находящиеся в непосредственной близости от транспортных магистралей и железнодорожных путей, где существует высокий риск дорожно-транспортных происшествий.

Определение границ указанных зон основывается на применении нормативных документов и руководств, устанавливающих предельные границы допустимых значений контролируемых параметров. Особенное внимание уделяется участкам, находящимся вблизи от жилых массивов и рекреационных зон, поскольку именно там риски нанесения вреда здоровью и природе особенно высоки.

Эффективное управление параметрами производственной среды невозможно без внедрения прогрессивных технических решений и инновационных организационно-технических подходов. Современные технологии предлагают более эффективные решения, направленные на снижение рисков, улучшение условий труда и повышение общей безопасности производственного процесса.

Выводы

Проведенный анализ подтверждает, что металлургическое производство остаётся источником комплексных рисков для персонала и окружающей среды. Ключевыми опасными факторами являются тепловой стресс, химическое загрязнение атмосферы и шумовое воздействие, которые ведут к профессиональным заболеваниям, снижению работоспособности и росту травматизма. Для эффективного управления этими рисками необходима интеграция современных подходов, включающих точный инструментальный мониторинг и внедрение инновационных технических решений.

Перспективным направлением является масштабная автоматизация и роботизация технологических процессов, позволяющая исключить присутствие человека в наиболее опасных зонах. Одновременно внедрение интеллектуальных систем контроля микроклимата и загазованности в режиме реального времени создаёт основу для оперативного предотвращения аварийных ситуаций. Таким образом, стратегия повышения безопасности и экологичности металлургических производств должна базироваться на синтезе строгого нормативного регулирования, непрерывного мониторинга производственной среды и активного внедрения ресурсоэффективных и защитных технологий.

Список литературы

1. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности процессов получения или применения металлов» : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 09 декабря 2020 г. № 512 (в ред. Приказа Ростехнадзора от 14.01.2025 г. № 5). – Текст : электронный // КонтурНорматив : [сайт]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=502167> (дата обращения: 04.05.2026).
2. Блинников, В. В. Оценка меры опасности доменного производства / В. В. Блинников. – Текст : электронный // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 3. – С. 87–91. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=31445> (дата обращения: 05.05.2026).
3. Оценка и прогнозирование профессионального риска для здоровья работающих в плавильных цехах металлургического производства / М. Н. Кирьянова, В. П. Плеханов, О. Л. Маркова, Е. В. Иванова. – Текст : электронный // Экология человека. – 2020. – № 7. – С. 15–20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-prognozirovanie-professionalnogo-riska-dlya-zdorovya-rabotayuschih-v-plavilnyh-tsehah-metallurgicheskogo-proizvodstva/viewer> (дата обращения: 06.05.2026).
4. Чеботарёв, А. Г. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий / А. Г. Чеботарёв, Д. Д. Семенцова. – Текст : электронный //

- Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 114–119. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119. – URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/16375-kompleksnaya-otsenka-uslovij-truda-i-sostoyaniya-professionalnoj-zabolevaemosti-rabotnikov-gorno-metallurgicheskikh-predpriyatij> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Relationship Between Occupational Risk and Personal Protective Equipment on the Example of Ferroalloy Production / Sh. Abikenova, G. Daumova, A. Kurmanbayeva [et al.]. – Текст : электронный // International Journal of Safety and Security Engineering. – 2022. – Vol. 12, N 5. – P. 609–614. – DOI 10.18280/ijssse.120509. – URL: https://www.researchgate.net/publication/366105398_Relationship_Between_Occupational_Risk_and_Personal_Protective_Equipment_on_the_Example_of_Ferroalloy_Production (дата обращения: 08.05.2026).
6. Серова, А. А. Проблема повышения экологической безопасности доменного производства / А. А. Серова, В. Д. Черчинцев. – Текст : электронный // Теория и технология металлургического производства. – 2011. – № 11. – С. 179–182. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17692168> (дата обращения: 13.05.2026).
7. Рамазанова, Е. Ю. Практикум по экологическим проблемам металлургического производства / Е. Ю. Рамазанова, О. В. Черняк. – Алчевск : ДонГТИ, 2021. – 203 с.
8. ГОСТ Р ИСО 7243-2007. Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра) = ISO 7243:1989 Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (IDT) : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 декабря 2007 г. № 385-ст : введен впервые : дата введения 01.06.2008 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». – Москва : Стандартинформ, 2008. – 16 с.
9. Оценка профессионального риска при воздействии нагревающего микроклимата в условиях модернизации металлургического предприятия / Е. Л. Базарова, А. А. Федорук, Н. А. Рослая [и др.]. – Текст : электронный // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1460–1466. – DOI 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1460-1466. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44537101> (дата обращения: 14.05.2026).
10. Оценка профессионального риска, связанного с воздействием шума, у работников модернизируемых участков металлургического предприятия / Е. Л. Базарова, А. А. Федорук, Н. А. Рослая [и др.]. – Текст : электронный // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 3. – С. 142–148. – DOI 10.31089/1026-9428-2019-59-3-142-148. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37189499> (дата обращения: 15.05.2026).

References

1. On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety “Rules for the safety of processes for obtaining or using metals” : approved by Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 9, 2020 No. 512 (as amended by Order of Rostekhnadzor dated January 14, 2025 No. 5). KonturNormativ : [website]. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=502167>
2. Blinnikov V. V. Assessing the Hazard of Blast Furnace Production. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. [Advances in Modern Natural Science]. 2013. № 3. Pp. 87–91. (In Russ.) URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=31445>
3. Assessment and Prediction of Occupational Health Risks for Workers in Metallurgical Smelting Shops. M. N. Kiryanova, V. P. Plekhanov, O. L. Markova, E. V. Ivanova. Ehkologiya cheloveka. [Human Ecology]. 2020. № 7. Pp. 15–20. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-i-prognozirovanie-professionalnogo-riska-dlya-zdorovya-rabotayuschih-v-plavilnyh-tsehah-metallurgicheskogo-proizvodstva/viewer>
4. Chebotarev A. G. Comprehensive Assessment of Working Conditions and Occupational Morbidity in Mining and Metallurgical Workers. A. G. Chebotarev, D. D. Sementsova. Gornaya promyshlennost'. [Mining Industry]. 2021. № 1. Pp. 114–119. DOI 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119. (In Russ.) URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/16375-kompleksnaya-otsenka-uslovij-truda-i-sostoyaniya-professionalnoj-zabolevaemosti-rabotnikov-gorno-metallurgicheskikh-predpriyatij>
5. Relationship Between Occupational Risk and Personal Protective Equipment on the Example of Ferroalloy Production. Sh. Abikenova, G. Daumova, A. Kurmanbayeva [et al.]. International Journal of Safety and Security Engineering. 2022. Vol. 12, N 5. Pp. 609–614. DOI 10.18280/ijssse.120509. (In Eng.) URL: https://www.researchgate.net/publication/366105398_Relationship_Between_Occupational_Risk_and_Personal_Protective_Equipment_on_the_Example_of_Ferroalloy_Production
6. Serova A. A. The Problem of Improving Environmental Safety of Blast Furnace Production. A. A. Serova, V. D. Cherchintsev. Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva. [Technology of Metallurgical Production]. 2011. № 11. Pp. 179–182. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17692168>
7. Ramazanova E. Yu. Workshop on Environmental Issues in Metallurgical Production. E. Yu. Ramazanova, O. V. Chernyak. Alchevsk : DonGTI, 2021. 203 p. (In Russ.)
8. GOST R ISO 7243-2007. Thermal Environment. Estimation of heat stress on a working person based on the WBGT (wet bulb globe temperature) index = ISO 7243:1989, Hot environments – Estimation of the heat stress on a working person, based on the WBGT index (wet bulb globe temperature) (IDT) : National Standard of the Russian Federation : official edition : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 20, 2007, No. 385 : introduced for the first time: date of introduction : June 1, 2008, developed by the Open Joint-Stock Company “Research Center for Monitoring and Diagnostics of Technical Systems”. Moscow : Standartinform, 2008. 16 p.

9. Assessment of Occupational Risks from Exposure to a Heating Microclimate during the Modernization of a Metallurgical Plant. E. L. Bazarova, A. A. Fedoruk, N. A. Roslaya [et al.]. *Gigiena i sanitariya. [Hygiene and Sanitation]*. 2020. Vol. 99, № 12. Pp. 1460–1466. DOI 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1460-1466. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44537101>
10. Assessment of Occupational Risks Associated with Noise Exposure in Workers at Modernized Sections of a Metallurgical Plant. E. L. Bazarova, A. A. Fedoruk, N. A. Roslaya [et al.]. *Medsina truda i promyshlennaya ehkologiya. [Occupational Medicine and Industrial Ecology]*. 2019. Vol. 59, № 3. Pp. 142–148. DOI 10.31089/1026-9428-2019-59-3-142-148. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37189499>

Статья поступила 18.05.2026

© Е. И. Харлова, В. В. Лихачева, М. В. Коновальчик, 2026

Рецензент: Е. А. Ромасюк, канд. техн. наук, доц.,

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры –
филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет», г. Магистрат*

Е. И. Харлова, В. В. Лихачева, М. В. Коновальчик

Современные подходы к обеспечению безопасности и экологичности металлургических производств: анализ рисков и инновационные решения

Функционирование ключевой отрасли экономики, металлургии, сопряжено с высокими профессиональными и экологическими рисками. В статье проведен комплексный анализ опасных и вредных факторов на металлургических производствах и разработана стратегия по их минимизации. Отмечено, что металлургическое производство, играя ключевую роль в экономике, характеризуется высокой степенью опасности для персонала и негативным воздействием на окружающую среду.

Основное внимание уделено рассмотрению физических, химических и биологических факторов, формирующих опасную среду: экстремальные температуры и тепловое излучение, токсичные газы (CO, SO₂, NO_x) и аэрозоли, высокий уровень шума и вибрации. Их совокупное воздействие приводит к профессиональным заболеваниям, тепловым поражениям и повышенному травматизму. Приведенный метод количественной оценки рисков, включая модель рассеивания вредных веществ и индекс тепловой нагрузки среды для оценки теплового стресса, подкреплён данными проведенных исследований о связи условий труда с заболеваемостью.

В качестве решений предлагается внедрение современных технологий: роботизации опасных операций, системы мониторинга в режиме реального времени микроклимата и вредных веществ, интеллектуальное видеонаблюдение для предотвращения инцидентов и строгое зонирование территории.

Эффективное управление рисками требует синтеза нормативного регулирования, точного мониторинга и внедрения защитных технологий. Комплексный подход, объединяющий инженерные, организационные и технологические инновации, обеспечит сохранение здоровья персонала и снизит нагрузку на окружающую среду.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ТЕПЛОВОЙ СТРЕСС, ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, РОБОТИЗАЦИЯ, МОНИТОРИНГ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

E. I. Kharlova, V. V. Likhacheva, M. V. Konovalchik

Modern Approaches to Ensuring the Safety and Environmental Friendliness of Metallurgical Industries: Risk Analysis and Innovative Solutions

The key branch of the economy, metallurgy, is associated with high occupational and environmental risks. The article provides a comprehensive analysis of hazardous and harmful factors in the metallurgical production and develops a strategy for their minimization. It is noted that metallurgical production, playing a key role in the economy, is characterized by a high degree of danger to personnel and a negative impact on the environment.

The main attention is paid to the consideration of physical, chemical and biological factors that form a dangerous environment: extreme temperatures and thermal radiation, toxic gases (CO, SO₂, NO_x) and aerosols, high noise and vibration levels. Their combined effects lead to occupational diseases, heat damage, and increased injury. The presented method of quantitative risk assessment, including the model of dispersion of harmful substances and the index of the thermal load of the medium for assessing heat stress, is supported by data from studies on the relationship between working conditions and morbidity.

The proposed solutions include the implementation of modern technologies: robotization of hazardous operations, a real-time monitoring system for microclimate and hazardous substances, intelligent video surveillance to prevent incidents, and strict zoning of the territory.

Effective risk management requires a synthesis of regulatory regulation, accurate monitoring, and the introduction of protective technologies. An integrated approach combining engineering, organizational and technological innovations will ensure the preservation of staff health and reduce the burden on the environment.

METALLURGICAL PRODUCTION, INDUSTRIAL SAFETY, ENVIRONMENTAL SAFETY, THERMAL STRESS, NOISE POLLUTION, AUTOMATION, ROBOTICS, PRODUCTION ENVIRONMENT MONITORING

Сведения об авторах:

Харлова Екатерина Игоревна

Ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 4752-4388
 Author ID: 1266483
 Телефон: +7 949 315-48-06
 Эл. почта: katerina_harlova@mail.ru

Лихачева Виктория Викторовна

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 1784-9410
 Телефон: +7 949 379-75-92
 Эл. почта: lixachova@mail.ru

Коновальчик Максим Владимирович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 1616-9285
 ORCID: 0000-0002-3943-2922
 ResearcherID: I-2733-2016
 Телефон: +7 949 364-33-43
 Эл. почта: max.k-30@yandex.ru

Authors' information:

Kharlova Ekaterina Igorevna

Assistant of the Chair "Technological Security" of Automobile and Road Institute of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 4752-4388
 Author ID: 1266483
 Phone: +7 949 315-48-06
 Email: katerina_harlova@mail.ru

Likhacheva Viktoriia Viktorovna

Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Chair "Technological Security" of Automobile and Road Institute of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 1784-9410
 Phone: +7 949 379-75-92
 Email: lixachova@mail.ru

Konovalchik Maksim Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair "Technological Security" of Automobile and Road Institute of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 1616-9285
 ORCID: 0000-0002-3943-2922
 ResearcherID: I-2733-2016
 Phone: +7 949 364-33-43
 Email: max.k-30@yandex.ru