УДК: 66.091

10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.26

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ



Лазаренков Александр Михайлович

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.
E-mail: lazarenkov@bntu.by
ORCID ID: 0000-0001-6939-592X

Аннотация. *В литейном производстве работники одновременно подвергаются воздействию пыли, вредных газов, шума, общей и локальной вибрации, нагревающего микроклимата, теплового излучения и недостаточного освещения. В статье обобщены результаты классификации производственных факторов и комплексной оценки условий труда в рамках системы «литейный цех – человек – окружающая среда». Определены приоритетные факторы риска для различных технологических участков и профессий. Научно обоснована необходимость дополнения действующей гигиенической оценки показателями фактической сменной дозы, кратковременного максимального воздействия и комбинированного влияния факторов. Разработан подход, направленный на своевременное выявление и оценку опасностей, определение приоритетности мер контроля и регулярную проверку их эффективности. Предложена пятиэтапная модель управления профессиональными рисками, объединяющая технические, организационные меры и средства индивидуальной защиты в единую систему мониторинга. Данная модель способствует улучшению безопасных условий труда на литейных предприятиях.*

Ключевые слова: *литейное производство, условия труда, профессиональный риск, пыль, шум, вибрация, микроклимат, комплексная оценка, охрана труда.*

Received: 05.09.2026 | Accepted: 10.10.2026 | Issue publication: 10.10.2026

QUYUV ISHLAB CHIQARISHIDA MEHNAT SHAROITLARINI KOMPLEKS BAHOLASH VA ZARARLI OMILLARNI KAMAYTIRISH YO‘LLARI

Lazarenkov Aleksandr Mixayilovich

Texnika fanlari doktori, professor, Belarus milliy texnika universiteti “Mehnat muhofazasi” kafedrasi professori, Minsk, Belarussiya

Annotatsiya. *Quyuv ishlab chiqarishida ishchilar chang, zararli gazlar, shovqin, umumiy va lokal vibratsiya, qizdiruvchi mikroiqlim, issiqlik nurlanishi hamda yetarli bo‘lmagan yoritish ta’siriga birgalikda duch keladi. Maqolada “quyuv sexi – inson – atrof-muhit” tizimi doirasida ishlab chiqarish omillarini tasniflash va mehnat sharoitlarini kompleks baholash natijalari umumlashtirildi. Turli texnologik uchastkalar va kasblar uchun ustuvor xavf omillari belgilandi. Amaldagi gigiyenik baholashni real smenalik doza, qisqa muddatli eng yuqori ekspozitsiya hamda omillarning kombinatsiyalangan*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

ta'siri ko'rsatkichlari bilan to'ldirish zarurligi ilmiy jihatdan asoslandi. Shuningdek, xavflarni o'z vaqtida aniqlash, baholash, nazorat choralarini ustuvorlashtirish va ularning samaradorligini muntazam tekshirishga qaratilgan yondashuv ishlab chiqildi. Texnik, tashkiliy va shaxsiy himoya choralarini yagona monitoring tizimiga birlashtiruvchi besh bosqichli kasbiy xavfni boshqarish modeli taklif etildi. Ushbu model quyuv korxonalarida xavfsiz mehnat sharoitlarini yaxshilashga xizmat qiladi.
Kalit so'zlar: *quyuv ishlab chiqarishi, mehnat sharoiti, kasbiy xavf, chang, shovqin, vibratsiya, mikroiqlim, kompleks baholash, mehnat muhofazasi.*

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS IN FOUNDRY PRODUCTION AND METHODS FOR REDUCING EXPOSURE TO HARMFUL FACTORS

Lazarenkov Alexander
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Occupational Safety, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. *In foundry production, workers are simultaneously exposed to dust, hazardous gases, noise, whole-body and local vibration, a hot microclimate, thermal radiation, and insufficient lighting. This article summarizes the results of classifying occupational factors and comprehensively assessing working conditions within the "foundry–human–environment" system. Priority risk factors were identified for various technological areas and occupational groups. The need to supplement the existing hygienic assessment with indicators of actual shift exposure, short-term peak exposure, and the combined effects of multiple factors was scientifically substantiated. An approach was developed for the timely identification and assessment of hazards, prioritization of control measures, and regular evaluation of their effectiveness. A five-stage occupational risk management model integrating engineering and organizational measures and personal protective equipment into a unified monitoring system was proposed. This model contributes to improving safe working conditions at foundry enterprises.*
Keywords: *foundry production, working conditions, occupational risk, dust, noise, vibration, microclimate, comprehensive assessment, occupational safety and health.*

Введение. Литейное производство является одним из основных заготовительных звеньев машиностроения, в котором одновременно проявляется воздействие высоких температур, расплавленного металла, минеральной и органической пыли, газов, шума и вибрации. Вследствие многообразия технологических процессов и сохранения значительной доли ручного труда опасность связана не только с отдельным оборудованием, но и со всей производственной системой. Поэтому контроль, основанный на измерении одного вредного фактора, может не в полной мере отражать профессиональный риск [1–4].

Идея оценки литейного цеха как взаимосвязанной системы «технология – работник – окружающая среда», сформированная в исследовании 1992 года, получила дальнейшее развитие применительно к цехам, производственным участкам, профессиям и отдельным физико-химическим факторам [1, 5–13]. Полученные результаты создают не только описательную, но и методическую основу для проектирования, оценки рабочих мест и профилактического управления охраной труда.

Цель исследования – систематизация результатов комплексной оценки условий труда в литейном производстве и разработка усовершенствованной модели управления профессиональными рисками для современного предприятия, учитывающей многофакторную экспозицию.

В основу исследования положены результаты, полученные в литейных цехах с различными производственными характеристиками, предыдущие исследования по оценке условий труда, международные стандарты и отраслевые рекомендации [1–18]. Материалы были сгруппированы по четырём критериям: объект исследования; оцениваемый фактор;

метод измерения или классификации; вид практической рекомендации.

При сравнительном анализе учитывались наличие вредного фактора, степень отклонения от допустимых нормативных значений, продолжительность воздействия и вероятность комбинированного влияния. Комплексная оценка была усовершенствована в соответствии с циклом современного управления профессиональными рисками: «идентификация опасностей – оценка экспозиции – определение приоритетов – меры контроля – повторный мониторинг».

Литературный анализ и методы. В первоначальной концепции экологическое равновесие рассматривается в рамках системы «литейный цех – человек – окружающая среда» [1]. Запылённость и загазованность рабочей зоны, шум, вибрация, микроклимат, освещение, а также содержание вредных веществ в санитарно-защитной и жилой зонах рассматриваются как взаимосвязанные показатели. Формирование расчётных зависимостей для каждого фактора и обработка результатов с помощью электронных вычислительных средств являлись значительным методическим новшеством для того периода.

На следующем этапе данный подход был интегрирован в образовательную и практическую систему охраны труда. В учебниках по металлургии, энергетике и машиностроению правовые, санитарно-гигиенические и технические аспекты безопасности были увязаны с производственным процессом [2–4]. В статьях, опубликованных после 2018 года, общая модель была конкретизирована на уровне профессий и технологических участков: оценивалась фактическая экспозиция на рабочих местах плавильщиков, заливщиков металла, формовщиков, стерженщиков, очистников, шлаковщиков и наладчиков [5–13].

Таким образом, методика оценки развивалась на трёх уровнях: системно-экологическая модель; комплексная гигиеническая оценка; профилактические рекомендации для конкретной профессии и технологической операции. Такая преемственность позволяет сравнивать различные литейные технологии по единым критериям.

Факторы риска в литейном цехе изменяются в зависимости от стадии технологического процесса. При подготовке шихты и формовочных смесей преобладают пыль и шум; при плавке и заливке – тепловое воздействие, газы и металлические аэрозоли; при выбивке форм и очистке отливок – пыль, шум и вибрация [5–13]. Данная взаимосвязь обобщена в таблице 1.

Таблице 1.

Участки литейного производства, приоритетные риски и направления профилактики

Участок	Приоритетные вредные факторы	Основные меры контроля
Подготовка шихты и формовочных смесей	Минеральная пыль, шум, физическая нагрузка	Закрытые транспортные системы, аспирация, механизация, влажная уборка
Формовка и изготовление стержней	Пыль, пары связующих веществ, локальная вибрация	Местная вытяжная вентиляция, применение малотоксичных материалов, виброизоляция оборудования
Плавка и заливка металла	Тепловое излучение, CO и другие газы, металлические аэрозоли	Дистанционное управление, защитные экраны, общеобменная и местная вентиляция
Выбивка форм	Высокая концентрация пыли, шум, общая вибрация	Закрытые камеры, дистанционное управление, снижение шума и вибрации в источнике их возникновения
Очистка отливок	Кремнезёмсодержащая пыль, шум, локальная вибрация	Герметизация абразивного процесса, автоматизация, модернизация ручного инструмента

Пылевая нагрузка формируется при транспортировке шихтовых материалов, смешивании песка и связующих веществ, выбивке форм и абразивной очистке отливок. Длительное воздействие респирабельной фракции, содержащей диоксид кремния, повышает риск развития заболеваний органов дыхания. Установлено, что применение новых химических материалов расширяет спектр токсичных веществ в воздухе рабочей зоны, а использование хромсодержащих добавок сопровождается выделением соединений, обладающих аллергенными свойствами [5, 12].

Высокие уровни воздействия пыли зарегистрированы на плавильно-заливочных

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

участках и участках очистки отливок [2, 5, 12, 17]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учитывать не только среднесменный показатель, но и максимальную кратковременную экспозицию.

Источниками шума в литейном цехе являются механические удары, трение, пневматические инструменты, вибрационные решётки, вентиляторы и транспортное оборудование. Воздействие шума необходимо оценивать уже на стадиях проектирования новых и реконструкции действующих цехов [4, 7, 13]. Меры контроля должны применяться в следующей последовательности: снижение шума в источнике, изоляция на пути его распространения и использование средств индивидуальной защиты от остаточного риска.

В исследованиях вибрации проводится различие между ручными инструментами, создающими локальную вибрацию, и технологическим оборудованием, являющимся источником общей вибрации [8, 10, 11]. При оценке условий труда необходимо учитывать не только амплитуду или ускорение, но также продолжительность контакта, рабочую позу, воздействие охлаждающего микроклимата и физическую нагрузку.

Нагревающий микроклимат в плавильных и заливочных отделениях определяется конвективным и лучистым теплом, исходящим от расплавленного металла, печей, ковшей и нагретых отливок. Сочетание тепловой нагрузки с воздействием газов и пыли усиливает физиологическое напряжение работника. В связи с этим необходимо комплексное применение экранирования, увеличения расстояния до источника тепла, механизации, воздушного душирования и рационального режима труда и отдыха [6, 9].

При комплексной оценке условий труда объединяются степень отклонения каждого фактора от нормативных значений, продолжительность воздействия, тяжесть трудового процесса и состояние безопасности [1, 3, 6]. Практическое преимущество методики заключается в возможности сравнивать различные профессии по единым критериям и определять приоритетность профилактических мероприятий.

Однако гигиенический класс условий труда не может полностью заменить окончательное управленческое решение. На двух рабочих местах, относящихся к одному классу, могут различаться вид вредного воздействия, максимальный уровень экспозиции и тяжесть последствий. Поэтому результаты комплексной оценки целесообразно дополнять матрицей профессионального риска, основанной на вероятности и тяжести последствий, показателями здоровья работников и статистикой технических неисправностей.

Таблице 2.

Критерии инструментальной оценки вредных факторов [3, 6-9, 13]

Фактор	Показатель оценки	Средство измерения	Управленческое решение
Пыль и газы	Среднесменная и кратковременная концентрация	Индивидуальный пробоотборник, газоанализатор	Аспирация, герметизация, замена материала
Шум	Эквивалентный уровень и сменная доза	Шумомер, индивидуальный дозиметр шума	Снижение шума в источнике, звукоизоляция, программа сохранения слуха
Вибрация	Виброускорение и продолжительность воздействия	Трёхосевой виброметр	Замена инструмента, виброизоляция и амортизация, ограничение продолжительности воздействия
Тепловое воздействие	Индекс WBGT и интенсивность теплового излучения	Измеритель параметров микроклимата с шаровым термометром	Экранирование, воздушное душирование, рациональный режим труда и отдыха

Результаты. Для развития комплексной оценки с применением современных цифровых средств предлагается пятиэтапная модель:

1. **Картирование опасностей:** для каждого участка, профессии и технологической операции определяются источник фактора, путь воздействия и возможные последствия.
2. **Многофакторный мониторинг:** стационарные измерения дополняются индивидуальными дозиметрами шума, измерителями вибрационной экспозиции, а также датчиками температуры и газов.
3. **Интегральный индекс риска:** применяются отдельные коэффициенты, учитывающие отклонение от нормативных значений, продолжительность воздействия, тяжесть последствий и комбинированное влияние факторов.
4. **Иерархия мер контроля:** соблюдается

последовательность, включающая устранение опасности, замену технологии или материала, инженерно-технические меры, организационные мероприятия и применение средств индивидуальной защиты.

5. **Повторная оценка:** после внедрения мер повторно оцениваются снижение экспозиции, показатели заболеваемости и травматизма, а также экономическая эффективность.

Таблица 3.

Иерархия приоритетности мер по снижению профессионального риска

Приоритет	Уровень мер	Практический пример для литейного цеха	Ожидаемый результат
1	Устранение опасности	Автоматизация ненужной ручной операции	Исключение контакта работника с источником опасности
2	Замена	Переход на материал с низким пылеобразованием и менее токсичное связующее вещество	Снижение исходного уровня риска
3	Инженерно-технические меры	Местная вытяжная вентиляция, защитные экраны, кабины и звукоизоляция	Ограничение распространения вредного фактора
4	Организационные меры	Ротация работников, обозначение опасных зон, рациональный режим труда и отдыха	Снижение продолжительности воздействия и вероятности ошибок
5	Индивидуальная защита	Респираторы, противошумные наушники, средства защиты лица и защиты от теплового воздействия	Ограничение воздействия остаточного риска на работника

Обсуждение. Приоритетный показатель для предприятия не должен ограничиваться только оценкой «соответствует/не соответствует нормативным требованиям». Необходимо формировать динамический профиль профессионального риска, отражающий фактическую сменную дозу воздействия на работника, кратковременные пиковые экспозиции и одновременное комбинированное влияние нескольких вредных факторов.

Практические преимущества предложенной методики заключаются в следующем:

- рассмотрение экологии, технологии и здоровья работников в рамках единой системы;
- переход от общей оценки цеха к уровню конкретной профессии и технологической операции;
- взаимосвязь результатов измерений с проектными решениями и профилактическими рекомендациями;
- внедрение научных результатов в подготовку инженерных кадров и практику охраны труда.

К ограничениям относятся недостаточно подробное представление объёма выборки и статистической неопределённости в отдельных публикациях, преимущественная ориентация исследований на промышленные предприятия Беларуси и постсоветского пространства, а также ограниченное применение биомаркеров и долгосрочных эпидемиологических наблюдений. Кроме того, оценка экономической и гигиенической эффективности рекомендованных мер после их внедрения с использованием контрольной группы представлена не во всех исследованиях. Указанные ограничения не опровергают полученные научные результаты, а определяют направления их дальнейшего развития и усиления в последующих исследованиях.

Заключения.

1. Рассмотрение охраны труда в литейном производстве на основе системы «литейный цех – человек – окружающая среда» создаёт последовательную научно-методическую основу для комплексной оценки вредных факторов.

2. Его исследования уточняют особенности воздействия пыли, химических веществ, шума, вибрации, микроклимата, теплового излучения и освещения на работников различных профессий и производственных участков. Поэтому полученные результаты имеют практическое значение для проектирования и реконструкции литейных цехов, а также оценки рабочих мест.

3. Наиболее высокий профессиональный риск формируется не только вследствие изолированного воздействия отдельных факторов, но и в результате их одновременного сочетания и продолжительности воздействия. Поэтому гигиеническую классификацию необходимо дополнять оценкой фактической сменной дозы и вероятности последствий.

4. Предложенная пятиэтапная модель развивает существующую методику посредством индивидуального сенсорного мониторинга, интегрального индекса риска и повторного анализа эффективности реализованных мероприятий.

5. В дальнейших исследованиях приоритетными должны стать многоцентровые

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 3-1
2026

измерения, долгосрочное наблюдение за состоянием здоровья работников, применение биомаркеров и оценка технико-экономической эффективности профилактических мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Алешина, Ю. А., & Новикова, Т. А. (2024). Профессиональные факторы риска для здоровья работников литейных производств предприятий машиностроения (обзор литературы). Гигиена и санитария, 103(5), 462–467. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-5-462-467

[2] Лазаренков, А. М. (1992). Исследование и разработка мер достижения экологического равновесия в системе «литейный цех – человек – окружающая среда» [Диссертация доктора технических наук, Белорусская государственная политехническая академия].

[3] Лазаренков, А. М. (2018). Условия труда работающих в литейных цехах. Литье и металлургия, (4), 160–164. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-4-160-164

[4] Лазаренков, А. М., Иванов, И. А., & Садоха, М. А. (2023). Воздействие факторов производственной среды на работающих в литейном производстве. Литье и металлургия, (2), 129–135. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-129-135

[5] Лазаренков, А. М., & Николайчик, Ю. А. (2021). Комплексная оценка условий и безопасности труда работающих в литейном производстве. Литье и металлургия, (4), 116–122. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-116-122

[6] Лазаренков, А. М., & Садоха, М. А. (2022). Исследование шумового фактора условий труда в литейном производстве. Литье и металлургия, (2), 130–136. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-130-136

[7] Gaertner, R. R. W., & Thériault, G. P. (2002). Risk of bladder cancer in foundry workers: A meta-analysis. Occupational and Environmental Medicine, 59(10), 655–663. https://doi.org/10.1136/oem.59.10.655

[8] International Labour Organization. (2003). Safety and health in the non-ferrous metals industries: ILO code of practice. https://www.ilo.org/publications/safety-and-health-non-ferrous-metals-industries

[9] International Labour Organization. (2005). Safety and health in the iron and steel industry: ILO code of practice. https://www.ilo.org/resource/other/safety-and-health-iron-and-steel-industry

[10] International Organization for Standardization. (2001). Mechanical vibration—Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration—Part 1: General requirements (ISO 5349-1:2001). https://www.iso.org/standard/32355.html

[11] International Organization for Standardization. (2017). Ergonomics of the thermal environment—Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (ISO 7243:2017). https://www.iso.org/standard/67188.html

[12] International Organization for Standardization. (2018). Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use (ISO 45001:2018). https://www.iso.org/standard/63787.html

[13] International Organization for Standardization. (2025). Acoustics—Determination of occupational noise exposure—Methodology (ISO 9612:2025). https://www.iso.org/standard/81317.html

[14] National Institute for Occupational Safety and Health. (1998a). Controlling silica dust from foundry casting-cleaning operations (DHHS [NIOSH] Publication No. 98-106). Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/docs/hazardcontrol/hc23.html

[15] National Institute for Occupational Safety and Health. (1998b). Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure, revised criteria 1998 (DHHS [NIOSH] Publication No. 98-126). Centers for Disease Control and Prevention. https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6376

[16] National Institute for Occupational Safety and Health. (2018). Foundries—Control technology recommendations. Engineering Controls Database, Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/engcontrols/ecd/detail141.html

[17] National Institute for Occupational Safety and Health. (2026). Silica and worker health. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/silica/about/

[18] Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Respirable crystalline silica (29 C.F.R. § 1910.1053). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1053

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Лазаренков, А. М. (2026). Комплексная оценка условий труда в литейном производстве и пути снижения воздействия вредных факторов. Цифровые технологии в промышленности, 4(3–1). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3-1.2026.26