

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 504

Моделирование теплового облучения и оценка профессионального риска плавильщика в литейном производстве

Г.В. Семакин, И.В. Богданова

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Литейное производство сопряжено с повышенными профессиональными рисками, включая тепловое облучение, воздействие аэрозолей фиброгенного действия и тяжелые условия труда. В статье представлены результаты исследований, в которых объединены оценка статистических рисков (таких как несчастные случаи и профессиональные заболевания) и моделирование параметров теплового облучения на рабочем месте в цехе чугунного литья.

Ключевые слова: профессиональные риски, тепловое облучение, коэффициент частоты несчастных случаев, эпюры теплового облучения, условия труда, литейное производство, охрана труда

Для цитирования. Семакин Г.В., Богданова И.В. Моделирование теплового облучения и оценка профессионального риска плавильщика в литейном производстве. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(3):65–69.

Modeling Thermal Radiation and Evaluating Occupational Hazards of a Foundry Worker

Gleb V. Semakin, Irina V. Bogdanova

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

A foundry is known for the high level of occupational hazards, including thermal radiation, exposure to fibrogenic aerosols, as well as for arduous working conditions. The article presents the results of the research, which combines assessment of the statistical hazards (such as accidents and occupational diseases) and modeling the parameters of thermal radiation experienced at the workplace, at the iron casting workshop.

Keywords: occupational hazards, thermal radiation, accident frequency rate, thermal radiation diagrams, working conditions, foundry, safety and health protection

For Citation. Semakin GV, Bogdanova IV. Modeling Thermal Radiation and Evaluating Occupational Hazards of a Foundry Worker. *Young Researcher of Don*. 2025;10(3):65–69.

Введение. Одним из опасных производственных факторов является тепловое излучение, исходящее от технологического оборудования в рабочих пространствах с нагревающим микроклиматом. Работники различных отраслей, включая литейное производство, подвергаются воздействию высоких температур в процессе своей деятельности, связанной с изготовлением деталей путём заливки расплавленного металла в формы, обладающие необходимой конфигурацией заготовки. Цель нашего исследования заключается в моделировании, расчёте и распределении тепловых полей на рабочих местах в цехе чугунного литья для наглядного представления распределения теплового излучения и проведения его анализа в соответствии с нормативными требованиями.

Основная часть. Для использования метода и построения эпюр необходимо знать точные размеры с чертежа (рис. 1), по значениям которых будет построена эпюра облучения на плавильщика, работающего с индукционной плавильной печью при совместной работе вагранок и передвигающейся узколейки для транспортировки шихты.

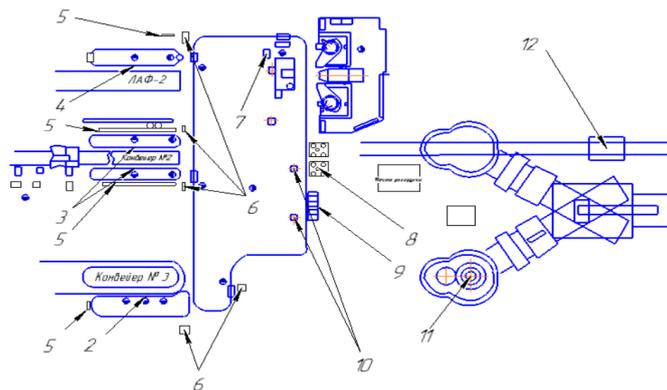


Рис. 1. План схема плавильного участка цеха чугуна литья

На рис. 2 точки А, Б — это положения работников, обслуживающих печи и выполняющих технологический процесс. В качестве источников излучения в плавильном участке выступают две индукционные печи (И1-И2), вагранки (И3, И5) и узколейка для транспортировки шихты (И4).

В соответствии с технологическим процессом температура источника:

- И3, И5 (плавление серого чугуна в вагранках) — $T = 1723 \text{ K}$ (температура перегрева металла $1450 \text{ }^\circ\text{C}$);
- И1, И2 (плавление высокопрочного чугуна в индукционных печах) — $T = 1823 \text{ K}$ (температура перегрева металла $1550 \text{ }^\circ\text{C}$);
- И4 (температура раздаточного металла при переливе из ковша) — $T = 1753 \text{ K}$ (температура перегрева металла $1480 \text{ }^\circ\text{C}$);
- температура объекта (одежды работника) — $304,4 \text{ K}$.

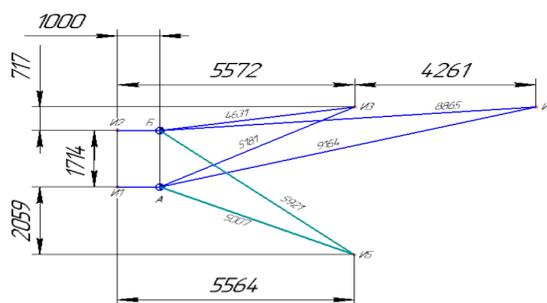


Рис. 2. Схема для построения эпюр

Используя закон Стефана-Больцмана для источников излучения (И1-И5), были найдены и представлены полные мощности излучения каждого очага, влияющего на работника [2].

Таблица 1

Значения полных мощностей излучения каждого очага влияющего на работника

E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
8 384,9 Вт/м ²	8 384,9 Вт/м ²	10 061 Вт/м ²	6 707,9 Вт/м ²	10 061 Вт/м ²

Тепловое облучение, влияющее непосредственно на работника, вычисляется по формуле:

$$E = \frac{E_0}{\pi \cdot r^2 \cdot \cos \varphi}$$

Таблица 2

Результаты расчетов теплового облучения для каждого положения работника

Облученность работника, Вт/м ²	Положение работника	Номер источника
2 669	Работник А	1
253,3	Работник А	3
91,8	Работник А	4
300,3	Работник А	5

2 669	Работник Б	2
933,2	Работник Б	3
299,3	Работник Б	4
141,7	Работник Б	5

Для расчета суммарной облученности, действующей на работников, был рассмотрим такой режим работы печей, когда работает индукционная печь ИПП-6,0, вагранка и происходит транспортировка раскаленного чугуна с помощью узколейки. Тут стоит отметить, что индукционные печи одновременно работать не могут.

В итоге получаем, что значение суммарной облученности:

- для работника А составляет — 3314,4 Вт/м²;
- для работника Б составляет — 4032,2 Вт/м².

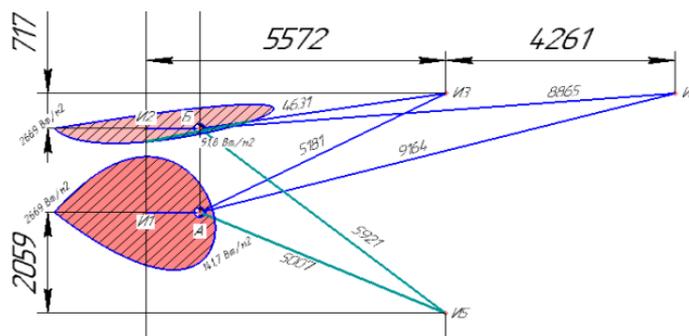


Рис. 3. Эпюры теплового облучения рабочих мест плавильщиков

Таким образом, показатели теплооблученности в цехе чугунного литья существенно превышают нормативные значения. Всё рабочее пространство, в котором осуществляет свою трудовую деятельность плавильщик, оказывается неблагоприятным, что может вызвать негативное воздействие на жизнь и здоровье работника, а также привести к развитию профессиональных заболеваний. Работники литейного производства, находясь в условиях нагревающего микроклимата, подвергаются воздействию высоких уровней теплового облучения, что негативно сказывается на их здоровье. Дополнительное воздействие в виде аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия, а также чрезмерная тяжесть трудового процесса могут привести к риску возникновения несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Расчёт профессиональных рисков включает в себя анализ возможных аварийных ситуаций, таких как разлив горячего металла или возгорание. Плавильщик осуществляет свою трудовую деятельность на базе цеха точного литья, предназначенного для изготовления литых заготовок по выплавляемым моделям. Оценка была произведена на основе следующих методик:

- статистический анализ несчастных случаев в организации (построение контрольных карт Шухарта для коэффициента частоты несчастных случаев) [3];
- расчет уровня риска от действия факторов трудового процесса (априорная оценка на основе модели НИИ медицины труда РАМН).

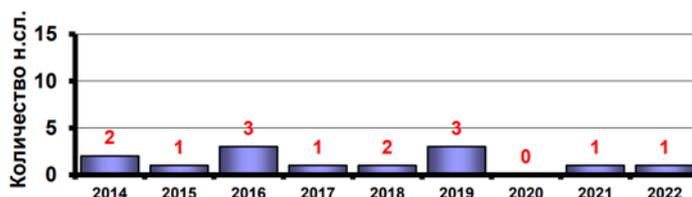


Рис. 4. Количество несчастных случаев в цеху точного литья за период с 2014 по 2022 гг.

В таблице 3 представлены данные, которые необходимы для построения статистической контрольной карты, где K_f — коэффициент частоты несчастных случаев.

Таблица 3

Данные, используемые для построения статистической контрольной карты

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Значение K_f	11,4	5,7	17,1	5,6	11,3	17,2	0	5,8	5,7

По итогам произведенных расчетов была получена следующая контрольная карта Шухарта.



Рис. 5. Статистическая контрольная карта Шухарта

Расчет среднего темпа изменения коэффициента частоты н/с показывает, что снижение коэффициента частоты н/с составляет лишь 10,07 % в год.

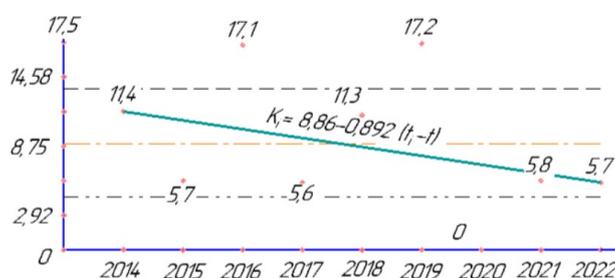


Рис. 6. Средний темп изменения коэффициент частоты НС

Причиной развития профессиональных заболеваний органов дыхания, таких как пневмокониозы и пылевой бронхит, является длительное воздействие повышенных концентраций пыли (твердой фазы аэрозолей). Для прогнозирования риска развития заболеваний пневмокониозами используется метод [4, 5] расчёта интегрального показателя:

$$R = 8,6X_1 + 6,0X_2 + 19,4X_3K_1 + 6,4X_4K_2K_3.$$

В качестве параметров используются: возраст работающего, общий стаж работы, стаж работы в контакте с пылью, содержание пыли в воздухе рабочей зоны и соответствующие коэффициенты. В результате расчетов было получено, что значение интегрального показателя, исходя из производственной среды цеха точного литья, составляет 1152,4. А вероятность развития профессионального заболевания равняется 5%. Из рис. 2 можно заключить, что система управления охраной труда в организации недостаточно эффективна, так как коэффициент частоты несчастных случаев в некоторые годы превышает верхнее предельное значение. График на рис. 3 демонстрирует, что для рассматриваемого примера расчет дал отрицательное значение среднего темпа изменения коэффициента частоты несчастных случаев.

Заключение. Проведённые исследования показывают, что условия труда плавильщиков металлов и сплавов в литейном производстве сопряжены с существенными профессиональными рисками. Анализ коэффициента частоты несчастных случаев за период 2014–2022 гг. выявил нестабильную динамику: в отдельные годы (2016, 2019, 2020) значения превышали верхние пределы контрольных карт Шухарта, что свидетельствует о недостаточной эффективности системы управления охраной труда. Средний темп снижения составил 10,07 % в год, что недостаточно для обеспечения безопасных условий труда. Моделирование параметров теплового облучения на рабочем участке цеха чугунного литья подтвердило критический уровень теплонапряженности. Для минимизации выявленных рисков необходимы комплексные меры, такие как внедрение теплоизолирующих экранов, модернизация систем вентиляции, регулярный мониторинг микроклимата и пылевой нагрузки. Важным направлением является оптимизация технологических процессов, например, исключение одновременной работы оборудования с максимальной тепловой нагрузкой. Обучение работников и пересмотр режимов труда также могут способствовать снижению вероятности несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Результаты исследований подчеркивают необходимость интеграции статистических методов оценки рисков и инженерного моделирования для создания безопасной производственной среды.

Список литературы

1. Бабалов. А.Ф. *Промышленная теплозащита в металлургии*. Москва: Металлургия; 1971. 360 с.
2. Любецкая. Н.А., Богданова. И.В., Булыгин. Ю.И. Оценка класса условий труда по интенсивности теплооблученности методом эппор при изменении схемы расположения технологического оборудования. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2020;(1):2–7.
3. Макаров. П.В. *Профессиональные риски*. Учебное пособие. Нижний Новгород: ННГАСУ; 2018. 144 с.
4. Измеров. Н. Ф., Ткачев. В. В. Проблемы и перспективы международной унификации методов измерения промышленных аэрозолей. *Медицина труда и промышленная экология*. 1994;(8):1–5.
5. Измеров. Н. Ф., Ткачев. В. В. Расчет и регулирование пылевых экспозиционных доз с целью снижения уровня профзаболеваний пылевой этиологии. *Медицина труда и промышленная экология*. 1995;(5):1–4.

Об авторах:

Глеб Вадимович Семакин, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), gsemakin@donstu.ru

Ирина Виссарионовна Богданова, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ibogdanova@donstu.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Gleb V. Semakin, Master's Degree Student of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), gsemakin@donstu.ru

Irina V. Bogdanova, Can.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), ibogdanova@donstu.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.