

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 331.461

О. Л. Дариенко

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Предложена методика расчета производственного риска в зависимости от параметров рабочей зоны предприятий теплоэнергетического комплекса с учетом времени действия опасных факторов. В отличие от существующих методик предложенный подход позволяет избавиться от необходимости использования множества шкал для характеристики качества среды. Полученные на основе риск-ориентированного подхода зависимости могут быть использованы при определении приоритетных мероприятий по охране труда с учетом уровня производственного и профессионального рисков.

Ключевые слова: вероятность нежелательного события, потенциальный производственный риск, вероятный интегральный риск, вероятностный метод, вредный фактор, опасный фактор, производственная среда, концентрация вредных веществ

Введение

Современный переход общества к широкому использованию рыночных отношений, возникновение разнообразных форм собственности обуславливают необходимость разработки гибких и доступных методологических подходов к построению современной модели управления охраной и безопасностью труда на национальном, региональном и производственном уровнях. В рамках развития социально-ориентированной экономики охрана труда должна быть одной из приоритетных задач социально-экономической политики как государства, так и каждого предприятия.

Опасности, с которыми сталкивается человек в процессе трудовой деятельности, имеют потенциальный, т. е. латентный характер. Условия, в которых реализуются потенциальные опасности, являются причинами. Они характеризуют совокупность обстоятельств, за счет которых опасности получают проявление и вызывают те или иные нежелательные последствия, наносят вред. Формы вреда или нежелательных последствий разнообразны: травмы различной степени тяжести, заболевания, определяемые современными методами, экодеструктивное воздействие на окружающую среду и т. д. Триада «опасность – причины – нежелательные последствия» представляет собой логический процесс развития, который преобразует потенциальную опасность в реальный вред (последствия). Наличие потенциальных опасностей находит свое отражение в аксиоме «жизнедеятельность человека потенциально опасна» [1].

В современной производственной среде отдельные мероприятия по улучшению условий труда для предупреждения профессиональных заболеваний и травматизма не всегда являются эффективными. В этой связи необходимо осуществлять комплексный анализ условий труда и создавать в общей системе производственного управления подсистемы управления безопасностью труда на основе проектных подходов. Управление проектами по охране труда включает планирование, с учетом результатов аттестации рабочих мест, по условиям труда, принятие решений и реализацию мероприятий, направленных на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе трудовой деятельности. Наличие множественного числа факторов производственной среды актуализирует задачу

оценки значений потенциального производственного риска при любом количестве вредных и опасных факторов на рабочих местах.

Цель работы – разработка методического подхода к оценке потенциального производственного риска работников предприятий теплоэнергетического комплекса при наличии любого количества вредных и опасных факторов в рабочей зоне.

Основная часть

Существующие методы определения уровня опасности от совместного воздействия вредных факторов в производственных условиях основаны на принципе минимума Либиха [2, 3], но его недостатком является учет факторов, оказывающих только максимальное воздействие. Существуют другие факторы, не имеющие превышения допустимых нормативов, но также оказывающие существенное воздействие на состояние здоровья персонала предприятий энергетического комплекса. Такое противоречие можно устранить посредством применения вероятностных оценок уровня опасности производственной среды. В рамках данного исследования предложено определять уровень опасности в рабочей зоне с помощью функции риска, позволяющей автоматизировать процесс оценки рабочих мест рабочих [4]. При этом стоит учитывать тот факт, что при получении интегральной оценки основная сложность заключается в том, что составляющие оценивания имеют качественные различия и часто отсутствуют их количественные показатели.

Вероятностные методы представляют результаты как распределение вероятностей или как пределы распределений вероятностей. Также они могут давать результаты в тех случаях, когда большинство распределений вероятностей или пределы распределения вероятностей опускаются ниже безопасного порога. В таком случае может возникнуть сложность расчета, например, в определении достаточного уровня безопасности химического вещества для получения разрешения на выброс. Существует достаточное количество неопределенностей в оценках риска, которые игнорируются в виду того, что их не так легко включить в анализ. Причиной может быть отсутствие надлежащей методологии, которая еще не разработана, или недостаток информации для выбора распределения [5].

Для вероятностной оценки необходимо установить величины приемлемого риска или приемлемой безопасности. В реальных условиях необходимо учитывать ошибку измерения при оценке безопасности. Это усложняет процедуру оценки, потому что всегда существует вероятность того, что истинное значение может оказаться в любой точке области изменения измеряемого параметра. Например, наиболее вероятное значение находится внутри безопасной области, а истинное – в области риска. В этом случае невозможно оценить безопасность простым алгебраическим сравнением наиболее вероятного значения с действующими нормами безопасности. Возможна только вероятностная оценка безопасности, которая позволяет определить вероятность принадлежности результатов измерения к области безопасных значений или области риска. Вероятность в первом случае будет превышать достаточно высокое, заранее заданное значение, а во втором – может быть незначительной [6].

В качестве базы для дальнейшего исследования за основу была принята методика для определения риска загрязнения воздуха химическими веществами [7]. В статистике переменными являются вероятности. В качестве «действительного состояния» системы, которое соответствуют определенным критериям оптимальности и выделяется среди множества возможных, рассматривается распределение вероятностей. Формой выражения теоретического риска является статистический показатель, приведенный к вероятности возникновения некоторого нежелательного события. В дальнейшем вероятность такого события и некоторая оценка ожидаемого ущерба объединяются в единый показатель, следовательно, комбинируется набор вероятности риска и ущерба. В статистической теории принятия решений функцию риска оценки $\delta(x)$ для параметра θ , вычисленную при некоторых наблюдаемых параметрах x , определяют как математическое ожидание функции потерь $L = (\theta, \delta(x))$ [8]:

$$R(\theta) = \int L(\theta, \delta(x)) \cdot f(x|\theta) dx, \quad (1)$$

где $L(\theta, \delta(x))$ – функция потерь от определенного параметра оценки θ и значения оценки $\delta(x)$;

$f(x|\theta)$ – вероятность наступления нежелательного события.

На практике имеет смысл использовать отдельные формы выражения (1) для существенного упрощения зависимости при учете конкретных условий проведения оценки риска. Таким образом, вероятность нежелательного события может быть определена, исходя из частоты реализации опасностей:

$$P = f(x|\theta) = \frac{N(t)}{Q(x)}, \quad (2)$$

где $N(t)$ – число некоторых нежелательных событий за время t ;

$Q(x)$ – общее число некоторых событий в системе.

Оценка риска в рабочей зоне при условии воздействия факторов среды выполняется, как правило, с предположением, что уровень загрязнения известен [9]. Это означает, что событие загрязнения уже произошло.

Для функции потерь $L(\theta, \delta(x))$ принимаем некоторую величину стоимости единицы риска, которая характеризует последствия какого-либо события. Например, с точки зрения работодателя стоимостная мера риска будет приниматься равной определенному размеру заработной платы работника, согласно действующему законодательству. Установление подобной стоимостной оценки может быть уместно и для других уровней тяжести нежелательных событий.

Согласно фундаментальному закону Вебера-Фехнера, при загрязнении атмосферного воздуха имеет место наличие определенной функциональной зависимости между уровнем загрязнения атмосферы, восприятием и риском:

$$r = \frac{1}{k} \cdot \lg \frac{C}{C_0}, \quad (3)$$

где r – уровень указанного риска;

C – концентрация имеющихся вредных веществ в воздухе, мг/м³;

k – коэффициент пропорциональности;

C_0 – наименьшая концентрация, при которой начинает ощущаться воздействие.

Если взять за основу существующие нормативные показатели, определяемые экспериментальным путем для каждого отдельного вещества, можно установить две закрепленные точки зависимости (3). Выполним замену $\frac{1}{k}$ на λ для упрощения преобразований:

$$\begin{cases} 1 \cdot 10^{-6} = \lambda \cdot \lg \frac{ПДК_{cc}}{C_0} \\ 0,5 = \lambda \cdot \lg \frac{ЛК_{50}}{C_0} \\ r = \lambda \cdot \lg \frac{ПДК_{cc}}{C_0} \end{cases}, \quad (4)$$

где $ПДК_{cc}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ, мг/м³;

LK_{50} – среднесмертельная (летальная) концентрация загрязняющих веществ, мг/м³.

Решение системы уравнений (4) для определения концентраций загрязняющих веществ, превышающих ПДК, принимает вид:

$$\lambda = \frac{0,5 - 1 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{LK_{50}}{ПДК_{cc}}};$$

$$C_0 = \frac{ПДК_{cc}}{\frac{10^{-6}}{10^{0,5-10^{-6}}} \cdot \frac{LK_{50}}{ПДК_{cc}}};$$
(5)

$$r = (0,5 - 10^{-6}) \cdot \left(\frac{\lg \frac{C}{ПДК_{cc}}}{\lg \frac{LK_{50}}{ПДК_{cc}}} + \frac{10^{-6}}{0,5 - 10^{-6}} \right);$$
(6)

$$r = \frac{0,5 - 10^{-6}}{\lg \frac{LK_{50}}{ПДК_{cc}}} \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{cc}} + 1 \cdot 10^{-6}.$$
(7)

Подтверждение тому, что последствия воздействия химических факторов на человека в процессе его трудовой деятельности соответствуют закону Вебера-Фехнера, отражено в уравнениях (5)–(7). Отличие (7) от известного классического выражения для зависимости Вебера-Фехнера заключается в том, что оно содержит свободный член 10^{-6} , который характеризует верхний предел воздействия. Другим отличием выражения (7) является введение нормирования риска в координатах LK_{50} и $ПДК_{cc}$, которые позволяют вычислить тангенс угла наклона линейной зависимости риска от логарифма нормированного значения $ПДК_{cc}$ действующего вещества. Полученная зависимость (7) является обобщением известного закона Вебера-Фехнера в части действия химических веществ на организм работника.

Аналогичным образом определены зависимости риска работников предприятий энергетического комплекса для электромагнитных колебаний, ионизирующего излучения и шума с целью дальнейшего расчета потенциального риска при воздействии разнородных факторов (таблица).

Таблица – Расчет потенциального риска при воздействии разнородных факторов производственной среды на работников предприятий энергетического комплекса

Параметры качества среды	Единицы измерения	Норматив принятого уровня	Чрезмерный уровень	Формула для расчета риска
Химические вещества	мг/м ³	$ПДК_{cc}$, зависит от вещества	LK_{50}	$r = 10^{-6} + b \cdot \lg \frac{C}{ПДК_{cc}}$
Шум	дБА	$ПДУ$	130 дБА	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$
Ионизирующее излучение	мЗв/год	Лимит дозы, $ПДУ = 20$	> 50	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg \frac{D_E}{ПДУ}$
Электромагнитные колебания	Вт/м ²	$ПДУ$	> 500	$r = 10^{-6} + k \cdot \lg \frac{E}{ПДУ}$

Примечание: I – уровень звука, дБА; I_0 – нормируемый параметр шума, дБА; D_E – поглощенная доза излучения, мЗв/год; E – напряженность электрического поля, Вт/м².

При оценке уровня опасности основным заданием является преобразование информации о свойствах параметров среды в показатели риска. Но на этой стадии возникает определенная сложность. Она связана с тем фактом, что предыдущие исследования характера воздействия вредных веществ и других факторов проводились без учета их взаимного влияния. Поэтому вопрос о преобразовании «доза – эффект» целесообразно решать, исходя из имеющихся экспериментальных данных. Так же указанное преобразование может осуществляться по отношению к каждому элементарному свойству с последующим приведением отдельных исследуемых показателей к единому критерию качества системы. Но в таком случае, при рассмотрении характера причинно-следственной связи в последовательности «действие – ощущение – реакция» это не является принципиальным.

Далее рассмотрим алгоритм преобразования параметров среды в показатель производственного риска. Выражения, необходимые для расчета потенциального риска при условии воздействия разнородных факторов, приведены в таблице. Выбор значений коэффициентов b необходимо проводить для каждого действующего вещества отдельно. По аналогии, коэффициент k так же выбирается для соответствующего интервала частот электромагнитных колебаний.

В условиях применения риск-ориентированного подхода в качестве базиса используется выражение (7) для расчета потенциального риска на основе конкретных данных, полученных при исследовании имеющихся факторов производственной среды и трудовой деятельности персонала. Выражения, приведенные в таблице, при их использовании для определения соответствующих параметров качества производственной среды, требуют уточнения и корректировки коэффициентов [10].

Соответственно, в условиях, когда значение фактора имеет значение меньше установленного норматива, величину риска можно рассчитать, исходя из предположения, что изменение его величины вследствие изменения значения фактора является линейным:

$$r_i = \alpha \cdot F, \quad (8)$$

где $\alpha = 10^{-6} / ПДУ$;

F – величина фактора, превышающего значение ПДУ.

Далее производится расчет суммарного вероятного риска в следующей последовательности. Прежде всего рассчитываются значения величины вероятного годового риска для каждого фактора r_i , а затем вычисляется величина вероятного интегрального риска:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i). \quad (9)$$

Вышеизложенная методика свидетельствует о получении единого подхода к расчету оценки параметров рабочей зоны, не требующей ввода множества шкал для характеристики качества среды.

Поскольку работники предприятий теплоэнергетического комплекса подпадают под многофакторное воздействие вредных факторов, такой подход значительно упрощает оценку степени реального профессионального и производственного риска для конкретного рабочего места. Применение предложенного подхода позволяет проводить оценку значений потенциального производственного риска при наличии любого количества вредных и опасных факторов на рабочих местах.

Выводы

1. Установлено, что существующие исследования характера воздействия вредных веществ и других факторов проводились без учета взаимного влияния факторов. Существу-

ющие методы определения уровня опасности от совместного действия вредных факторов в производственных условиях основаны на учете только факторов, имеющих максимальное воздействие.

2. Обосновано применение методического подхода к расчету оценки параметров рабочей зоны на основе расчета потенциального риска на базе данных, полученных при исследовании факторов производственной среды и трудового процесса.

3. Предложено применение вероятного интегрального риска, позволяющего учитывать взаимное воздействие, проводить оценку значений потенциального производственного риска при любом количестве вредных и опасных факторов на рабочих местах.

Список литературы

1. Техногенные опасности – угроза жизнедеятельности человека / С. А. Татаринцев, А. Н. Бармин, Е. А. Колчин, А. С. Шуваев / Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева // Естественные науки. – 2013. – № 1(42). – С. 36–42.
2. Современные проблемы оценки рисков и ущербов здоровью от воздействия факторов окружающей среды / С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин, Н. С. Скворцова, Т. А. Шашина // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 18–20.
3. Захаренков, В. В. Оценка риска нарушения здоровья работников угольной теплоэлектростанции от воздействия производственных факторов / В. В. Захаренков, В. В. Кислицына // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 1. – С. 168–170.
4. Басиль Е. Е. Риск сокращения продолжительности жизни: рабочая зона / Е. Е. Басиль, С. А. Изотов, В. Д. Гогунский // Труды Одесского политехнического университета. – 1997. – Вып. 2. – С. 133–135.
5. Montgomery, V. New statistical methods in risk assessment by probability bounds / V. Montgomery ; Department of Mathematical Sciences. – UK : Durham University, 2009 – 162 p.
6. Дюкина, Т. О. Управление рисками с использованием статистических методов / Т. О. Дюкина // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – № 18. – С. 135–141.
7. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду : утверждено и введено в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 5 марта 2004 г. : разработано впервые / разработано ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды имени А. Н. Сысина РАМН [и др.]. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с. – ISBN 5-7508-0552-2.
8. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин [и др.] ; под редакцией Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. – Москва : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
9. Макаров, Г. В. Применение нечетких множеств в экспертных системах экологического мониторинга / Г. В. Макаров, М. Ю. Слесарев // Экологические системы и приборы. – 2006. – № 2. – С. 39–45.
10. Герасименко, Н. М. Некоторые аспекты анализа опасностей и оценки степени профессиональных рисков на основе риск-ориентированного подхода / Н. М. Герасименко // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 9. – С. 89–95.

О. Л. Дариенко

Автомобильно-дорожный институт (филиал)

***федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка***

**Совершенствование методики оценки потенциального риска воздействия вредных факторов
в производственных условиях предприятий энергетического комплекса**

Существующие методы определения уровня опасности от комплексного воздействия вредных факторов в производственных условиях основаны на принципе минимума Либиха, недостатком которого является учет факторов, оказывающих максимальное воздействие. В то же время, другие факторы, даже если они не превышают допустимых нормативов, тоже влияют на состояние здоровья работников. Одним из способов преодоления данного противоречия является использование вероятностных оценок уровня опасности производственной среды.

С этой целью в работе предложена методика определения уровня опасности в рабочей зоне предприятий теплоэнергетического комплекса с помощью функции риска, позволяющей автоматизировать процессы принятия решений в сфере охраны труда и безопасности производственных процессов. Предложенный подход позволяет

избегать субъективного воздействия при определении класса условий труда и, соответственно, установить адекватные размеры компенсаций и льгот за работу во вредных условиях труда. Решение этой задачи обеспечит единый подход к оценке рабочих мест по условиям труда независимо от отрасли и, одновременно, реализацию принципов концепции допустимого риска.

ВЕРОЯТНОСТЬ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО СОБЫТИЯ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РИСК, ВЕРОЯТНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ РИСК, ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД, ВРЕДНЫЙ ФАКТОР, ОПАСНЫЙ ФАКТОР, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СРЕДА, КОНЦЕНТРАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

O. L. Darienko

***Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka***

**Improvement of the Potential Risk Assessment Technique of the Harmful Factors Exposure
in the Production Conditions of Energy Complex Enterprises**

Existing methods for determining the level of danger from the complex impact of harmful factors in production conditions are based on the Liebig minimum principle, the disadvantage of which is that it takes into account factors that have the maximum impact. At the same time, other factors, even if they do not exceed permissible standards, also affect the health of workers. One way to overcome this contradiction is to use probabilistic assessments of the danger level of the production environment.

For this purpose, the paper proposes a technique to determine the level of danger in the working area of the thermal power plants using a risk function that allows for the automation of decision-making processes in the field of the labour protection and safety of production processes. The proposed approach allows to avoid subjective influence when determining the class of working conditions and, accordingly, to establish adequate amounts of compensation and benefits for work in harmful working conditions. The solution to this problem will ensure a unified approach to assessing workplaces based on working conditions, regardless of the industry, and, at the same time, the implementation of the principles of the concept of acceptable risk.

UNDESIRABLE EVENT PROBABILITY, POTENTIAL PRODUCTION RISK, PROBABILISTIC INTEGRAL RISK, PROBABILISTIC METHOD, HARMFUL FACTOR, HAZARDOUS FACTOR, PRODUCTION ENVIRONMENT, HARMFUL SUBSTANCES CONCENTRATION

Сведения об авторе:

О. Л. Дариенко

SPIN-код РИНЦ: 4259-2959

Телефон: +7 949 330-85-05

Эл. почта: osnovi.ekologiyi@gmail.com

Статья поступила 16.12.2024

© О. Л. Дариенко, 2024

*Рецензент: В. В. Лихачева, канд. техн. наук, доц.,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*