

УДК 614.71:621.791

## АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ В ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

<sup>1</sup>Андреева Е.С., <sup>2</sup>Андреев С.С.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,  
e-mail: [espmeteo@yandex.ru](mailto:espmeteo@yandex.ru);<sup>2</sup>ЧОУ ВО «Ростовский институт защиты предпринимателя», Ростов-на-Дону,  
e-mail: [rggmurd@yandex.ru](mailto:rggmurd@yandex.ru)

Статья посвящена обобщению известных подходов к оценке риска здоровью работников, занятых в сварочном деле и работающих в замкнутых пространствах рабочей зоны, которые приняты в Российской Федерации. Большинство известных в настоящее время российских и зарубежных моделей оценки риска здоровью основано на двух принципах: концепции ПДК и методологии, разработанной Американским агентством по защите окружающей среды (US EPA). При стесненных условиях труда сварщиков токсическая нагрузка, связанная с пребыванием в воздухе рабочей зоны ряда аэрозолей, выделяемых при сварке в рабочее пространство, требует соответствующего объективного анализа и всесторонней оценки. В данном исследовании рассмотрены принципы современных оценок риска здоровью, базирующихся на исследовании зависимости «доза – эффект» для пороговых токсикантов. Обсуждаются достоинства и недостатки указанных выше подходов, обсуждаются аспекты достижения экологической безопасности сварочных работ в замкнутых пространствах рабочей зоны, при этом акцент делается на вкладе химической составляющей риска здоровью сварщиков в отношении пороговых, дозозависимых веществ. Предложены обобщенные позиции современной оценки риска здоровью для работников, занятых в сварочном деле, и обозначены перспективы создания единой методологии оценки риска здоровью сварщиков для пороговых веществ на основе уравнений линейно-квадратичной модели. Для повышения объективности конечных результатов указанной выше модели существенным дополнением должна стать система уравнений, позволяющих учитывать широкий спектр условий и параметров. Анализ и оценка риска здоровью для беспороговых, в том числе канцерогенных, веществ требуют формирования отдельной методики оценки риска здоровью работников сварочного производства с учетом их профессиональной специфики.

**Ключевые слова:** оценка риска здоровью, зависимость «доза – эффект», пороговые вещества, канцерогенные вещества, беспороговые вещества, экологическая безопасность сварочных работ замкнутых пространств рабочей зоны

## ASPECTS OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF WELDING OPERATIONS IN CONFINED SPACES OF THE WORKING AREA

<sup>1</sup>Andreeva E.S., <sup>2</sup>Andreev S.S.<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: [espmeteo@yandex.ru](mailto:espmeteo@yandex.ru);<sup>2</sup>Rostov Institute of Entrepreneur Protection, Rostov-on-Don, e-mail: [rggmurd@yandex.ru](mailto:rggmurd@yandex.ru)

The article is devoted to generalization of known approaches to health risk assessment of workers engaged in welding and working in confined spaces of the working zone, which are accepted in the Russian Federation. Most of the currently known Russian and foreign models of health risk assessment are based on two principles: the concept of MPC and the methodology developed by the US environmental protection Agency (US EPA). Under cramped working conditions of welders, the toxic load associated with the presence in the air of the working area of a number of aerosols released during welding into the working space, requires an appropriate objective analysis and comprehensive assessment. In this study, the principles of modern health risk assessments based on the study of the dose–effect relationship for threshold toxicants are considered. Discusses the advantages and disadvantages of the above approaches, discusses aspects of achieving environmental safety, welding in confined spaces working area, with emphasis on the contribution of the chemical component of the health risk of welders in relation to thresholds, dose-dependent substances. The generalized positions of the modern assessment of health risk for workers engaged in welding are offered and prospects of creation of the uniform methodology of assessment of health risk of welders for threshold substances on the basis of equations of linear-quadratic model are designated. To improve the objectivity of the final results of the above model, a significant addition should be a system of equations that allow for a wide range of conditions and parameters. Analysis and assessment of health risk for non-threshold, including carcinogenic, substances require the formation of a separate methodology for assessing the health risk of welding workers, taking into account their professional specificity.

**Keywords:** health risk assessment, dose – effect dependence, threshold substances, carcinogenic substances, non-threshold substances, environmental safety of welding works in closed spaces of the working area

Особенности труда работников сварочного дела обуславливают высокую токсическую нагрузку из-за накапливания в воздухе рабочей зоны ряда опасных аэрозолей, совместно пребывающих в замкнутых пространствах под воздействием высоких тем-

ператур, что требует детального анализа и оценки степени воздействия на организм занятых в этой сфере. С другой стороны, в настоящее время отсутствуют адекватные методики оценки риска здоровью работников, занятых в сварочном деле. Эти два

вышеупомянутых обстоятельства актуализируют тему данного исследования и определяют его направленность.

Цель исследования: обобщение и обсуждение известных принципов оценки риска здоровью работников, занятых в сварочном деле и пребывающих в стесненных условиях замкнутых пространств рабочей зоны.

Понятие «риск здоровью» появилось еще в XX в. в научной медицинской литературе, однако в настоящее время оно весьма распространено в геоэкологии, где риск здоровью оценивается в рамках обеспечения экологической безопасности населения, в том числе работников, занятых на опасных производствах.

Поскольку процедура оценки риска здоровью и реализация принципов экологической безопасности входят в перечень стратегически важных для государства задач, понятие «риск здоровью» было принято на государственном уровне и указано в соответствующих методических рекомендациях (МР 2.1.9.003-03). Так, в указанных рекомендациях под риском здоровью населения понимается вероятность развития неблагоприятного эффекта у одного человека или группы людей при воздействии дозы или непосредственно концентрации опасного для организма человека вещества. Воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды обуславливает риск здоровью или ожидаемую частоту нежелательных эффектов у населения, возникающих от воздействия загрязняющего вещества. При этом риск здоровью может быть охарактеризован тремя аспектами: вероятностью возникновения; последствиями реализации риска и значимостью (направленностью) последствий.

### Материалы и методы исследования

В данной статье обсуждаются известные российские и зарубежные подходы и модели оценки риска здоровью, большинство из которых основываются на двух принципах: концепции ПДК и методологии, разработанной Американским агентством по защите окружающей среды (US EPA).

### Результаты исследования и их обсуждение

Подавляющее множество российских и зарубежных моделей оценки риска здоровью базируются на двух основных принципах оценки риска здоровью населения: пороговой концепции ПДК и методологии, разработанной Американским агентством по защите окружающей среды.

Сложность и неоднозначность оценки риска здоровью населения в целом и работников, занятых в сварочном деле, в част-

ности обуславливается не только разнообразием опасных факторов: химических, физических, психологических и пр., но и их сочетанным действием в условиях высоких температур. Так, при воздействии высоких температур (физический фактор) скорости протекания химических реакций согласно правилу С. Аррениуса возрастают, образуются совершенно неизвестные в плане токсического эффекта вещества. Объективные трудности также связаны с оценкой риска здоровью в отношении беспороговых и канцерогенных веществ, подтвержденных Международным агентством по изучению рака (МАИР), число которых в последнее время возрастает.

Основные положения отечественной методологии оценки риска здоровью при различных экспозициях примесей подробно изложены в Руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду Российской Федерации (Руководство Р. 2.1.10.1920-04) [1]. Процедура оценки риска в описываемом Руководстве предполагает последовательное, системное рассмотрение всех аспектов воздействия изучаемого фактора на здоровье, включая обоснование допустимых уровней воздействия.

В свою очередь, полная или базовая схема оценки риска здоровью требует осуществления четырех взаимосвязанных этапов: идентификация опасности; оценка зависимости «доза – эффект»; оценка экспозиции (путей поступления вещества); а также итоговая характеристика риска здоровью.

До момента инициации исследований в рамках описанной выше полной схемы изначально должны быть определены их цель и задачи, сформирована специальная группа исследователей, куда должны быть включены как специалисты по оценке риска, так и токсикологи, химики, технологи, а также лица, которые в дальнейшем будут разрабатывать и принимать управленческие решения.

Как показано в Руководстве [1], оценка риска развития неканцерогенных эффектов выполняется либо путем сравнения фактических уровней поступления с приемлемыми (безопасными) уровнями, при этом рассчитывается индекс/коэффициент опасности; либо с помощью оценки параметров зависимости «концентрация – ответ», учитывая эталонные или безопасные значения для интерпретации результатов и исходя из проведенных ранее эпидемиологических исследований.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов для отдельных веществ проводится на основе расчета ко-

эфициента опасности по известным формулам [1]. Если значение рассчитанного коэффициента опасности (HQ) вещества не превышает единицу, то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни незначительна и такое воздействие характеризуется как допустимое. Если коэффициент опасности превышает единицу, то вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ, однако точно указать величину этой вероятности невозможно. Коэффициент опасности рассчитывается отдельно для условий кратковременных (острых), подострых и длительных воздействий химических веществ. При этом период усреднения экспозиций и соответствующих безопасных уровней воздействия должен быть аналогичным.

В Руководстве приведены формулы расчёта суммарного индекса опасности при комбинированном и комплексном поступлении химического вещества в организм человека из окружающей среды одновременно несколькими путями, а также при многосредовом и многомаршрутном воздействии. Кроме того, представлены подобные модели оценки риска здоровью с учётом пути поступления вещества, отсутствия данных о веществе [2]. На последнем этапе оценки риска необходимо произвести его характеристику в соответствии с диапазонами приемлемости.

Как видно из вышесказанного, данная методика не свободна от недостатков, к которым относится то, что она:

1. Игнорирует возможность образования сложных соединений в результате инициации химических реакций, протекающих в воздушной среде с учетом высоких температур и ряда иных физических факторов (электромагнитное излучение, шумовое и вибрационное воздействие и пр.).

2. Не учитывает флуктуации значений массы тела человека, возникающих из-за предыдущих или настоящих заболеваний или иных факторов.

3. Основана на нормативном регламенте ПДК.

Стоит отметить, что рассмотренная выше методика учитывает ряд необходимых параметров, но часть, не менее важных, остаётся неохваченной. Главным преимуществом вышеизложенного метода, по мнению авторов, является возможность расчёта риска при различных вариациях экспозиции токсиканта.

Методика А.Б. Ревича, доктора медицинских наук, члена Президиума Всероссийской организации «Риск и здоровье»,

направленная также на расчёт риска здоровью, предполагает прежде всего проведение эколого-эпидемиологической работы, обязательным звеном которой является установление изначальной гипотезы. Собственно, в гипотезе рассматривается механизм развития заболевания и указывается, анализ каких статистических данных о здоровье населения будет проводиться в дальнейшем. Далее гипотеза исследователей согласовывается с данными других авторов о возникающих возможных причинно-следственных связях [3]. Затем определяется вид эколого-эпидемиологических работ, который будет включать основные этапы оценки риска здоровью [3]. Могут быть использованы описательные, аналитические или методы экспериментальных эпидемиологических исследований [3].

Описательные методы исследования предполагают изучение частоты и характера распределения того или иного заболевания в определённое время в различных группах населения из-за воздействия различных факторов окружающей среды.

Наиболее наглядными являются аналитические методы эпидемиологических исследований, которые используют для выявления количественных связей между факторами окружающей среды и состоянием здоровья населения. Используются данные о состоянии здоровья каждого конкретного человека (а не группы населения в целом, как в описательных методах), что даёт возможность получить информацию о других воздействующих факторах риска. Сравнимые факторы являются экспонированными и неэкспонированными по отношению к конкретному воздействию. Абсолютное сравнение заключается в расчёте разницы между частотой заболевания между экспонированными и неэкспонированными группами. Относительное сравнение определяется как отношение частоты заболевания у экспонированных к частоте неэкспонированных. Показатель относительного сравнения называют относительным риском (relative risk) [4], который рассчитывается по предложенной в методике А.Б. Ревича формуле. Вышеприведённая методика расчёта риска здоровью базируется на терминах и формулах, предложенных Р. Флетчером, согласно которому подразумевается, что относительный риск демонстрирует интенсивность связи между воздействием и заболеванием, показывая, во сколько раз экспозиция изучаемому агенту увеличивает фоновую вероятность заболеть или умереть от того или иного заболевания. При этом подразумевается, что аналитические эпидемиологические исследования можно

проводить с использованием следующих методов: поперечные, «случай – контроль» и когортные или проспективные. [5]. В исследованиях «случай – контроль» относительный риск рассчитывается по приведенной в методике формуле. Помимо расчётов относительного риска в работах А.Б. Ревича отдельно приводится методика расчёта неканцерогенного риска здоровью от воздействия химических факторов окружающей среды согласно Руководству по оценке риска [6]. Предложенная автором методика имеет ряд достоинств и недостатков, некоторые из которых были отмечены самим А.Б. Ревичем/ В частности, недостатками являются [7]:

1. Сложность создания контрольной группы с учетом устранения проблемы «мешающих факторов» (тех факторов, которые будут искажать результат, например детское и пожилое население сильнее подвержено заболеваниям, чем население среднего возраста).

2. Тщательное наблюдение за группой исследуемых, знание латентного периода каждого заболевания.

3. Когортные исследования – длительные. Приходится включать большое число людей и проводить наблюдения продолжительное время.

4. Поперечные исследования малоэффективны при изучении отдалённых последствий воздействия неблагоприятных факторов.

5. В уравнениях модели не учитывается экспозиция веществ (многосредовое, комплексное воздействие, путь поступления).

Еще одна методика оценки риска предложена А.В. Киселёвым, профессором кафедры медицинской экологии им. Г.В. Хлопина ГОУ ДПО «Санкт-Петербургская медицинская академия последипломного образования», и основывается на общепринятых нормативных и научно-методологических документах, в которых изложены основополагающие постулаты оценки риска здоровью. Они так же, как и предыдущие методики, предполагают выполнение четырёх основных этапов: идентификация опасности, оценка экспозиции, оценка зависимости «доза – эффект», характеристика риска. Дозозависимая реакция организма определяется экспериментально на уровне достаточно высоких, явно действующих доз, а оценка реального уровня загрязнения осуществляется методом экстраполяции [8]. Для практического применения системы оценки риска здоровью А.В. Киселев предлагает использовать более простые формулы – формулы модели оценки риска немедленных эффектов в связи с загрязне-

нием атмосферного воздуха. В дальнейшем для удобства практического применения данного уравнения оно приводится к кратности превышения ПДКм.р., используя при этом среднее значение углового диапазона по каждому из классов опасности. Для практического перевода пробитов в вероятность (риск) можно использовать либо таблицу максимального вероятностного распределения, либо встроенные функции специализированных пакетов программ (НОРМСТРАСП) табличного процессора Excel. Существенным недостатком методики А.В. Киселёва является использование нормативного регламента ПДК, который, с другой стороны, принят на государственном уровне и не предусматривает альтернативного варианта.

Следует отметить, что С.М. Новиковым, С.Л. Авалиани, Г.Г. Онищенко написаны ряд работ по оценке риска здоровью, в основу которых положены принципы расчёта риска, изложенные в упомянутом выше Руководстве.

Для описания связи между дозой и откликом на неё в работах П.А. Ваганова, доктора геолого-минералогических наук, профессора кафедры экологической геологии Института наук о Земле СПбГУ, предложено две модели: линейно-квадратичная и модель Вейбулла – Гнеденко. Зависимость между дозой токсиканта и откликом на неё на основе линейно-квадратичной модели определяется по линейной модели [8], при этом коэффициенты, содержащиеся в уравнении, подбираются эмпирическим путем. Расчёт частоты или повторяемости дополнительного риска здоровью населения по модели Вейбулла – Гнеденко производится по уравнению, содержащему экспоненциальную зависимость. Параметры  $a$  и  $b$  из этого уравнения можно найти, если известных хотя бы две пары значений, полученных в результате серии экспериментальных исследований. Недостатки или проблемы методики П.А. Ваганова связаны с неоднозначностью расчетов параметров  $a$  и  $b$  указанных выше уравнений, а также объективным отсутствием достаточного эмпирического материала.

В работах Leon J. Warshaw изложена американская методика оценки риска здоровью (HRA), приобретшая свехпопулярность в США за последние несколько десятилетий и являющаяся подготовительным этапом к осуществлению периодических медицинских проверок, фактически заменяя их. Указанная методика служит базисом консультационной работы по вопросам здоровья, когда оценивается группа людей [9], при этом HRA определяется как метод оцен-

ки степени риска для здоровья, имея следующие *недостатки*:

1. Результат носит приближенный характер.
2. Цифровой вид «показателя риска», который представляет собой общую оценку степени риска здоровья индивидуума, не всегда идентифицирует истинную опасность, маскируясь под относительно хорошие числовые значения.
3. Невозможность представления количественного результата оценки риска в более наглядном виде.
4. Результаты оценки риска здоровью определяются качественными показателями состояния здоровья.

Вместе с тем основным *достоинством* метода является то, что при его реализации фокусируется внимание на каждом факторе риска, а результаты анкетирования и сопутствующие рекомендации в основном серьезно воспринимаются обследуемым, поскольку специалистом производится непосредственный анализ состояния его здоровья.

### Выводы

Очевидно, что каждая из существующих методик и моделей имеет ряд достоинств и недостатков, учёт которых необходим для формирования универсального метода оценки риска здоровью. В частности, представляется, что указанный метод оценки риска здоровью в отношении работников сварочного дела должен учитывать и отражать:

- путь, время, количество вещества (экспозицию);
- комплексность, многосредовость, различные пути поступления вещества в организм;
- химические свойства и реакционную способность вещества как в воздушной среде, так и в организме человека;
- учёт нынешнего состояния здоровья и предыстории заболеваний;
- массу тела человека и ее флуктуации в некоторый промежуток времени;
- половозрастные особенности и изменения организма;
- нелинейность возможной связи между величиной дозы и эффектами, ею обусловливаемыми.

Важно отметить, что описанные выше методики и модели оценки риска учитывают большую часть известных исчисляемых параметров оценки риска здоровью, однако не меньшая их доля остается неохваченной. В частности, при акцентации вклада химической составляющей риска здоровью необходимо учитывать также и физические, биологические, социальные его проявления. В рамках данного исследования рассматривается вклад главным образом химической составляющей риска здоровью сварщиков

в отношении дозозависимых веществ, – это, как известно, соединения марганца, монооксид углерода и прочие, а также некоторого числа канцерогенных соединений, среди которых в сварочном деле преобладают окислы шестивалентного хрома и никеля. Согласно классификации Международного агентства изучения рака соединения хрома и никеля относятся к I группе химических веществ, канцерогенность которых для человека доказана. В отношении канцерогенных веществ для оценки риска здоровью необходимо применять специальные методы оценки, включающие в том числе и оценку единичного риска.

Таким образом, обобщая изложенные выше позиции современной оценки риска здоровью для работников, занятых в сварочном деле, можно сделать вывод о том, что создание единой методики оценки риска здоровью сварщиков для пороговых веществ должно базироваться преимущественно на уравнениях линейно-квадратичной модели, поскольку она позволяет получать, по-видимому, наиболее объективные результаты, дополнением которой должна быть система уравнений, позволяющих учитывать необходимые вышеперечисленные условия и параметры.

Беспороговые, в том числе канцерогенные, вещества требуют формирования собственной методики оценки риска здоровью работников сварочного производства с учетом их профессиональной специфики.

### Список литературы

1. Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Утвержден и введен в действие 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 28.08.2019).
2. Лукьянова Н.И., Попова Е.С. Проблемы оценки риска здоровью населения мегаполисов (на примере отдельных районов г. Санкт-Петербурга) // Экологическая химия. 2011. Т. 20. № 2. С. 114–120.
3. Гребенюк А.Н., Кушнир Л.А. Оценка профессионального риска здоровью пожарных от воздействия химических веществ // Медицина труда и промышленная экология. 2010. № 12. С. 10–14.
4. Андреев С.С., Андреева Е.С. Биоклиматическая характеристика Ростовской области по индексу патогенности метеорологической ситуации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2003. № 9. С. 67–76.
5. Andreeva E.S., Klimov P.V., Lipovitskaya I.N., Andreev S.S., Denisov O.V. Approaches to the assessment of non-carcinogenic risk to public health on the city of Rostov-on-Don. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2019. T. 19. № 5–2. P. 115–122. DOI: 10.5593/sgem2019/5.2/S20.015.
6. Андреева Е.С., Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н. Прогноз уровня загрязнения воздуха в Санкт-Петербурге с применением алгоритма принятия решений // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2019. № 2. С. 55–60.
7. Андреев С.С., Попова Е.С. Оценка климатической комфортности прибрежной территории на примере г. Туапсе // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Серия 7: Геология. География. 2015. № 4. С. 144–149.
8. Евстропов В.М. Медицинские аспекты здоровья у специалистов опасных профессий // Национальное здоровье. 2017. № 3–4. С. 60–74.