



Научная статья

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАТЕГОРИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА, ОБУСЛОВЛЕННОГО РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ, СВЯЗАННЫМИ С КОМПЛЕКСОМ ФАКТОРОВ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ И ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА**Н.В. Зайцева¹, П.З. Шур¹, В.Б. Алексеев¹, А.А. Савочкина²,
А.И. Савочкин³, Е.В. Хрущева¹**¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614000, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20

Оценка профессионального риска, который обусловлен различными видами нарушений здоровья работников, связанными с комплексом факторов рабочей среды и трудового процесса, требует исследования возможности применения дополнительных методов, позволяющих не только количественно определить уровень профессионального риска, но и адекватно категоризировать его. В качестве одного из таких методов может быть рассмотрена и применена методика оценки риска на базе анализа нечетких множеств.

Предлагаемые методические подходы к оценке профессионального риска включают последовательное выполнение следующих этапов: определение нечетких чисел, соответствующих заданным уровням профессионального риска; подготовку исходной информации (численной характеристики профессионального риска) для расчетов; вероятностную оценку принадлежности численной характеристики профессионального риска к нечетким числам, а также оценку вероятности принадлежности численной характеристики профессионального риска. Основным инструментом реализации данного метода является определение функции принадлежности трапециевидного нечеткого числа, являющегося оценкой принадлежности детерминированных оценок риска к определенной его категории.

Предложена шкала для оценки уровней профессионального риска от пренебрежимо малого ($0-1 \cdot 10^{-4}$) до экстремально высокого ($3 \cdot 10^{-1}-1$) и соответствующие ей границы трапециевидного нечеткого интервала (четверки чисел, задающих трапециевидное число).

При опробовании методики в условиях выявления профессиональных заболеваний (нейросенсорной тугоухости), болезней, связанных с работой (артериальной гипертензии), и их сочетания под воздействием шумового фактора на уровне 85 дБА показано, что функции принадлежности всех уровней риска, установленных по результатам эпидемиологических исследований, равны единице.

Ключевые слова: профессиональный риск, категории риска, допустимый риск, шумовой фактор, трудовой процесс, факторы рабочей среды, нечеткие множества, трапециевидное нечеткое число.

© Зайцева Н.В., Шур П.З., Алексеев В.Б., Савочкина А.А., Савочкин А.И., Хрущева Е.В., 2020

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).**Шур Павел Залманович** – доктор медицинских наук, ученый секретарь (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).**Алексеев Вадим Борисович** – доктор медицинских наук, директор (e-mail: alekseev@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-32-70; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-5493>).**Савочкина Анна Александровна** – старший преподаватель кафедры высшей математики (e-mail: aidas_76@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-16-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-6632>).**Савочкин Андрей Игоревич** – студент (e-mail: savochkin.andrei2014@gmail.com; тел.: 8 (992) 237-16-56; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3591-2718>).**Хрущева Екатерина Вячеславовна** – старший научный сотрудник с выполнением обязанностей заведующего лабораторией методов и технологий управления рисками (e-mail: zem@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>).

Сохранение и развитие трудового потенциала является одной из приоритетных задач обеспечения безопасности государства и гарантией его развития. Развитие экономики в России до 2035 г. будет проходить в условиях второго этапа депопуляции, что предопределяет особенности формирования трудового потенциала и необходимость повышения эффективности его использования. В этих условиях политика государства должна быть нацелена на мобилизацию всех возможных резервов сбережения населения [1]. Одним из способов сохранения численности трудоспособного населения является снижение рисков для жизни и здоровья, связанных с выполнением трудовых функций – профессиональных рисков [2–4].

В настоящее время предусматривается априорная (предварительная) оценка профессионального риска с использованием категорирования риска по результатам гигиенической оценки условий труда (классам условий труда) и апостериорная (окончательная) оценка по медико-биологическим критериям¹. Наиболее адекватные результаты апостериорной оценки могут быть получены при использовании информации, выявленной в ходе эпидемиологических исследований состояния здоровья работников. При этом необходимо учитывать вероятность развития, как профессиональных заболеваний, так и болезней, связанных с работой.

Российское законодательство трактует условия труда как комплекс производственных факторов, которые влияют на работоспособность и состояние здоровья работника². Однако методические подходы к оценке профессионального риска чаще всего предусматривают анализ риска, связанного с влиянием отдельных факторов риска, в то время как работники подвергаются одновременному интенсивному воздействию разнородных факторов [5, 6]. В то же время следует учитывать, что результатом воздействия одного производственного фактора может быть формирование профессиональных рисков, обусловленных несколькими заболеваниями, относящимися как к профессиональным, так и связанным с работой [7–10]. Поэтому оценка профессионального риска, обусловленного различными видами нарушений здоровья работников, связанными с комплексом факторов рабочей среды и трудового процесса, требует исследования возможности применения дополнительных методов, позволяющих не только количественно определить уровень профессионального риска, но и адекватно категорировать его. В качест-

ве одного из таких методов может быть рассмотрена методика оценки риска на базе анализа нечетких множеств [11].

Теория нечеткой логики (или теория нечетких множеств – новый вероятностный подход к описанию процессов, в которых присутствует неопределенность, затрудняющая применение точных количественных методов и подходов) [12].

Использование элементов теории нечетких множеств позволяет оценивать условия многокомпонентных негативных воздействий, обуславливающих множественные негативные эффекты, в том числе в виде причиненного вреда здоровью [13–16]. При этом ключевые показатели оцениваются не точными, а вероятностными интервальными значениями, характеризующимися функцией принадлежности к диапазону шкалированных параметров.

Нечеткое моделирование позволяет включать в анализ качественные переменные и оперировать нечеткими входными данными, быстро моделировать сложные динамические ситуации и сравнивать их между собой с заданной степенью точности, что в полной мере соответствует задачам анализа влияния неблагоприятных факторов условия труда на здоровье работников и оценку профессиональных рисков.

Использование метода нечетких множеств дает ряд преимуществ, так как позволяет при необходимости включать в анализ качественные переменные, оперировать нечеткими входными данными, лингвистическими критериями, быстро моделировать сложные динамические системы и сравнивать их с заданной степенью точности, преодолевать недостатки и ограничения существующих методов оценки рисков. К недостаткам метода можно отнести, в первую очередь, необходимость специального программного обеспечения, а также ограниченное число специалистов, умеющих с ним работать [17].

Гигиеническая оценка факторов рабочей среды, трудового процесса и их экспозиции осуществляется с использованием как количественных (для химических, физических факторов), так и качественных (для тяжести и напряженности труда) характеристик. Также она включает определение категорий рассчитанных уровней риска, связанного с одновременным воздействием комплекса производственных факторов, способных привести к нескольким видам нарушений здоровья работников, использование новых вероятностных методов в категорировании профессиональных рисков. Применение в этих случаях метода нечетких множеств является актуальным.

¹ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 18.10.2020); Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901902053> (дата обращения: 18.10.2020).

² ТК РФ Статья 209. Основные понятия [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230ecef0/ (дата обращения: 18.10.2020).

Цель работы – разработка методических подходов с использованием элементов теории нечетких множеств к оценке профессионального риска, обусловленного различными видами нарушений здоровья работников и их сочетаний, связанными с негативным воздействием комплекса факторов рабочей среды и трудового процесса.

Материалы и методы. Предлагаемые методические подходы включают выполнение следующих этапов:

- определение нечетких чисел, соответствующих заданным уровням профессионального риска;
- подготовку исходной информации (численной характеристики профессионального риска) для расчетов;
- вероятностную оценку принадлежности численной характеристики профессионального риска к нечетким числам;
- оценку вероятности принадлежности численной характеристики профессионального риска.

Расчет группового профессионального риска производится по результатам эпидемиологического исследования и основывается на сравнении вероятности развития профессиональных и производственно обусловленных заболеваний, связанных с воздействием производственных факторов. Для выполнения таких задач необходимо сформировать группы исследования и сравнения. Поскольку уровень воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса определяется для рабочих мест, принимается положение, что все работающие на этих рабочих местах подвергаются воздействию для них определенных условий труда.

Основным критерием для включения в группы исследования является работа в условиях факторов рабочей среды и трудового процесса на уровне выше оптимального. С целью учета сочетанного воздействия производственных факторов группа исследования может разбиваться на подгруппы, которые характеризуются сходным комплексом факторов условий труда.

Основным критерием для включения в группу сравнения является работа в условиях факторов рабочей среды и трудового процесса на допустимом уровне. Возрастные и стажевые характеристики групп исследования и сравнения должны быть сопоставимы и достоверно не отличаться.

Для каждого фактора определяется перечень вероятных профессиональных заболеваний (ПЗ) и болезней, связанных с работой, адекватных факторам рабочей среды и трудового процесса.

После установления достоверных причинно-следственных связей по эпидемиологическим критериям ($RR \geq 1,5$) в обеих группах выявляется число установленных профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой (БСР), и рассчитывается частота (вероятность) каждого заболевания по формуле

$$w_{ПЗ(БСР)} = \frac{n_{ПЗ(БСР)}}{N}, \quad (1)$$

где $w_{ПЗ}$ – частота появления ПЗ (БСР); $n_{ПЗ}$ – число работников в группе, у которых зарегистрированы ПЗ (БСР); N – число работников в группе.

После этого определяется дополнительная частота (вероятность) профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе исследования:

$$w_{ПЗ(БСР)}^{доп} = w_{ПЗ(БСР)}^{иссл} - w_{ПЗ(БСР)}^{срав}, \quad (2)$$

где $w_{ПЗ(БСР)}^{доп}$ – дополнительная частота (вероятность) профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе исследования;

$w_{ПЗ(БСР)}^{иссл}$ – частота (вероятность) профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе исследования;

$w_{ПЗ(БСР)}^{срав}$ – дополнительная частота (вероятность) профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе сравнения.

В условиях многофакторного сочетанного воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса у работников возможно одновременное развитие профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой. Такая ситуация может быть причиной возрастания тяжести заболеваний. В этих случаях рассчитывается частота появления ПЗ и БСР в группах исследования и сравнения и дополнительная частота (вероятность) одновременного развития профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе исследования:

$$w_{ПЗ, БСР} = \frac{n_{ПЗ, БСР}}{N}, \quad (3)$$

где $w_{ПЗ, БСР}$ – частота одновременного развития ПЗ и БСР; $n_{ПЗ, БСР}$ – число работников в группе, с одновременным развитием ПЗ и БСР в группе; N – число работников в группе.

$$w_{ПЗ, БСР}^{доп} = w_{ПЗ, БСР}^{иссл} - w_{ПЗ, БСР}^{срав}, \quad (4)$$

где $w_{ПЗ, БСР}^{доп}$ – дополнительная частота (вероятность) одновременного развития профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой, в группе исследования;

$w_{ПЗ, БСР}^{иссл}$ – частота (вероятность) одновременного развития профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе исследования;

$w_{ПЗ, БСР}^{срав}$ – частота (вероятность) одновременного развития профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой в группе сравнения.

Расчет уровня профессионального риска в условиях воздействия исследуемого комплекса производственных факторов, обусловленного профессиональными заболеваниями и болезнями, связанными с работой ($R_{ПЗ(БСР)}^{проф}$), производится с учетом их тяжести ($g_{ПЗ(БСР)}$):

$$R_{ПЗ(БСР)}^{проф} = w_{ПЗ(БСР)}^{доп} \cdot g_{ПЗ(БСР)}, \quad (5)$$

При этом расчет уровня профессионального риска в условиях воздействия исследуемого комплекса производственных факторов, обусловленного одновременным развитием профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой ($R_{ПЗ(БСР)}^{проф}$), производится с учетом их совместной тяжести ($g_{ПЗ+БСР}$):

$$R_{ПЗ, БСР}^{проф} = w_{ПЗ, БСР}^{доп} \cdot g_{ПЗ, БСР}. \quad (6)$$

При этом совместная тяжесть профессиональных заболеваний и болезней, связанных с работой, при их одновременном развитии ($g_{ПЗ, БСР}$) рассчитывается по формуле

$$g_{ПЗ, БСР} = g_{ПЗ} + g_{БСР} - g_{ПЗ} \cdot g_{БСР}, \quad (7)$$

где $g_{ПЗ}$ – тяжесть профессиональных заболеваний; $g_{БСР}$ – тяжесть болезней, связанных с работой.

Оценка персонального профессионального риска здоровью производится по результатам математического моделирования зависимости вероятности негативных ответов от условий труда, возраста и стажа (построение логистических регрессионных моделей). Данные модели (формула (8)), количественно определяющие зависимость вероятности негативного ответа (профессионального или производственно обусловленного заболевания) в условиях воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса с учетом уровня воздействующего фактора, возраста и стажа работающих, разрабатываются для каждой оцениваемой группы. Определение параметров математической модели производится методом наименьших квадратов с применением пакетов программ статистического анализа данных (например Statistica 6.0). Оценка достоверности параметров и адекватности модели осуществляется на основании однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера.

$$p_1 = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3)}}, \quad (8)$$

где p_1 – вероятность негативного ответа (профессионального или производственно обусловленного заболевания); x_1 – уровень экспозиции шумового фактора, дБА; x_2 – стаж, лет; x_3 – возраст, лет; b_0, b_1, b_2 – параметры математической модели.

Полученные уровни профессионального риска рассматриваются как детерминированные величины, оценку которых (отнесение к определенной категории риска) осуществляют в соответствии с предложенной шкалой (табл. 1).

Вместе с тем для условий многофакторного сочетанного воздействия факторов рабочей среды и трудового процесса, способных быть причиной раз-

вития как профессиональных заболеваний, так и болезней, связанных с работой, целесообразно рассмотреть возможность использования подходов, основанных на одновременном применении теории множеств и математической логики, к оценкам категории профессионального риска.

Т а б л и ц а 1

Шкала оценки уровней профессионального риска

Уровень профессионального риска	Категория профессионального риска
Менее $1 \cdot 10^{-4}$	Пренебрежимо малый риск
$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	Малый риск
$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	Умеренный риск
$1 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2}$	Средний риск
$3 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$	Высокий риск
$1 \cdot 10^{-1} - 3 \cdot 10^{-1}$	Очень высокий риск
$3 \cdot 10^{-1} - 1$	Экстремально высокий риск

Основным инструментом реализации данного метода является определение принадлежности детерминированных оценок риска к определенным трапециевидным нечетким интервалам, характеризующим категории риска. Трапециевидный нечеткий интервал рассматривается как нормальный нечеткий интервал, функция принадлежности которого может быть задана трапециевидной функцией.

Для задач уточнения принадлежности детерминированных величин профессионального риска к его категориям используется шкала трапециевидных нечетких чисел, построенная на основе детерминированной шкалы оценки уровней профессионального риска (табл. 2, рисунок).

Использование трапециевидных нечетких чисел позволяет уточнять принадлежность величины к категориям риска, причем, если значение величины принадлежит меньшему основанию трапециевидного числа, то ее степень принадлежности к соответствующему классу равна единице, в других случаях степень принадлежности определяется функцией принадлежности.

Т а б л и ц а 2

Шкала трапециевидных нечетких чисел для оценки уровней профессионального риска

Трапециевидные нечеткие числа (четверка чисел, задающая трапециевидное число)	Категория профессионального риска
0; 0; 0,00005; 0,00033	Пренебрежимо малый риск
(0,00005; 0,00033; 0,00078; 0,00325	Малый риск
0,00078; 0,00325; 0,0775; 0,015	Умеренный риск
0,0775; 0,015; 0,025; 0,0475	Средний риск
0,025; 0,0475; 0,0825; 0,15	Высокий риск
0,0825; 0,15; 0,25; 0,53	Очень высокий риск
0,25; 0,53; 1; 1	Экстремально высокий риск

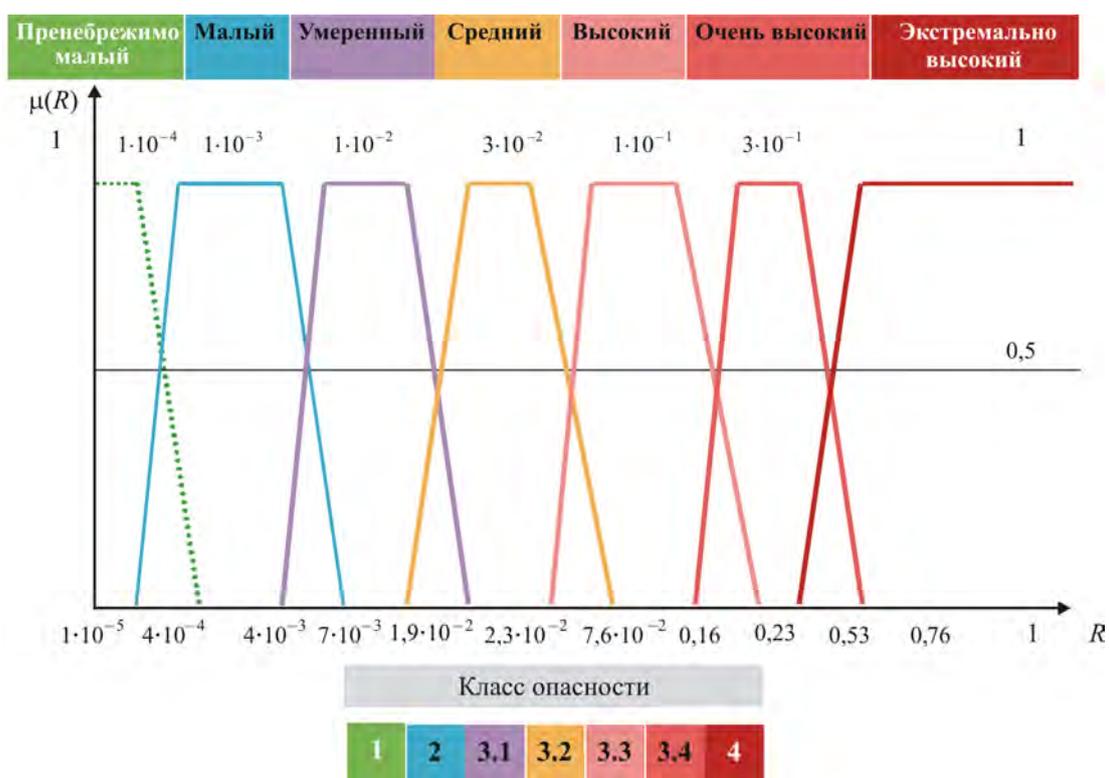


Рис. Графическое представление шкалы трапецевидных нечетких чисел для оценки уровней профессионального риска

Основным инструментом реализации данного метода является определение функции принадлежности трапецевидного нечеткого числа, являющегося оценкой принадлежности детерминированных оценок риска к определенной категории риска, которая в общем виде имеет вид:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_1 \leq x < a_2 \\ 1, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } a_3 < x \leq a_4 \\ 0, & \text{если } x > a_4 \end{cases} \quad (9)$$

Важно отметить, что точка пересечения двух трапеций означает равные степени принадлежности как к одному, так и к другому соответствующим классам.

С учетом полученных оценок функций принадлежности трапецевидного нечеткого числа производится определение уточненных уровней риска (SR_k) по формуле

$$SR_k = \sum_i q_i \cdot \mu_{ki}(R_{ПЗ(БСР)}^{проф}), k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \quad (10)$$

где q_i – весовой вклад риска категории i в общий уровень риска; k – степень значимости категории риска.

Весовой вклад риска категории i в общий уровень риска (q_i) рассчитывается с помощью формулы Фишберна:

$$q_i = \frac{2(n-i+1)}{(n-1)n}, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \quad (11)$$

где n – количество категорий риска.

Уточненные уровни риска рассматриваются как базис для обоснования действий по управлению профессиональным риском в соответствии с его категорией.

Предложенные подходы опробованы на примере оценки профессионального риска для работников производств цветной металлургии. В качестве приоритетного вредного фактора условий труда выделен производственный шум. Кроме этого фактора потенциальное вредное действие на здоровье работников могут оказывать пылевой фактор и тяжесть труда.

С учетом условий труда были сформированы следующие группы работников. Группу наблюдения составили 111 работников (100 % мужчин), подвергающиеся воздействию производственного шума на уровне 85 дБА, средний возраст – $35,63 \pm 3,38$ г., средний стаж работы $11,40 \pm 6,38$ г.

Группа сравнения состояла из 47 работающих вне воздействия шумового фактора (100 % мужчин), но в сходных условиях труда, средний возраст – $37,36 \pm 1,52$ г., средний стаж – $12,85 \pm 2,30$ г.

На основании имеющихся данных о преимущественном поражении органов-мишеней при контакте с производственными факторами была обоснована

и реализована программа обследования работников, включающая оценку, клинический осмотр, лабораторные исследования по следующим направлениям:

– клиническое обследование с оценкой состояния системы кровообращения, органов слуха;

– диагностика нарушений слуха шумовой этиологии методом шепотной акуметрии и аудиометрическое исследование слуха (тональная пороговая аудиометрия осуществляется при помощи аудиометра 2А-02 «Биомедилен»);

– ультразвуковая оценка вазомоторной функции эндотелия плечевой артерии в пробе эндотелий-зависимой вазодилатации по модифицированной методике D.S. Celestajer et al. (1992) на ультразвуковом сканере экспертного класса Toshiba VIAMO (Япония) с использованием линейного датчика 7 МГц;

– ультразвуковое исследование экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий на системе ультразвуковой диагностики TOSHIBA APLIO XG, модель SSA-790A (Япония), с использованием линейного датчика частотой от 10 до 14 МГц по стандартной методике;

– лабораторные исследования, выполненные унифицированными гематологическими, биохимическими и иммуноферментными методами, позволяющими оценить состояние органов-мишеней. В качестве критериев оценки отклонений лабораторных показателей использованы уровни лабораторных показателей обследованного контингента группы сравнения.

По результатам клинического обследования предварительный диагноз «нейросенсорная тугоухость первой и второй степени» установлен у 13 работников группы наблюдения и у одного – из группы сравнения. Диагноз «эссенциальная [первичная] артери-

альная гипертензия» установлен у 14 работников из группы наблюдения и у трех – в группе сравнения. При этом у трех работников в группе наблюдения выявлены как нейросенсорная тугоухость, так и артериальная гипертензия.

Нейросенсорная тугоухость рассматривалась в данном примере как профессиональное заболевание. Эпидемиологическая оценка причинно-следственной связи артериальной гипертензии с условиями труда показала, что показатель относительного риска (RR) составил 5,17 (доверительные интервалы 1,52–17,52). Это позволяет отнести артериальную гипертензию к болезням, связанным с работой.

Дополнительная вероятность развития нейросенсорной тугоухости у работников группы исследования составила 0,095; артериальной гипертензии – 0,062. Уровень профессионального риска, обусловленного нейросенсорной тугоухостью, при тяжести 0,32 составил $3,1 \cdot 10^{-2}$ (высокий риск), артериальной гипертензией при тяжести 0,25 – $1,6 \cdot 10^{-2}$ (средний риск). Профессиональный риск, обусловленный сочетанием нейросенсорной тугоухости и артериальной гипертензии, при тяжести 0,49 составил $0,004\text{--}4 \cdot 10^{-3}$ (умеренный риск).

Определение функции принадлежности трапецевидного нечеткого числа для всех уровней профессионального риска показало, что во всех случаях она равна единице, и уточненные его уровни соответствуют определенным по результатам эпидемиологических исследований.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Топилин А.В. Трудовой потенциал России: демографические и социально-экономические проблемы формирования и использования // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89, № 7. – С. 736–744.
2. Измеров Н.Ф. Оценка профессионального риска и управление им – основа профилактики в медицине труда // Гигиена и санитария. – 2006. – № 5. – С. 14–16.
3. Измеров Н.Ф., Симонова Н.И., Низяева И.В. Исследование и анализ профиля профессионального риска // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 9. – С. 60–61.
4. Жеглова А.В. Персонифицированный профессиональный риск и трудовое долголетие // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 627.
5. Симонова Н.И. Оценка индивидуального профессионального риска // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. – 2015. – № 3. – С. 15–22.
6. Определение и оценка группового избыточного (атрибутивного) риска потерь слуха от шума / Л.В. Прокопенко, Н.Н. Курьеров, А.В. Лагутина, Е.С. Почтарёва // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 212–218.
7. Чеботарёв А.Г., Гибадулина И.Ю. Профессиональные риски, патология органов дыхания горнорабочих, обслуживающих самоходные машины с дизельным приводом // Горная промышленность. – 2016. – Т. 126, № 2. – С. 75.
8. Валеева Э.Т., Бакиров А.Б., Каримова Л.К. Профессиональный риск для здоровья работников химической промышленности // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2013. – № 5–6. – С. 124–128.
9. Мещакова Н.М., Рукавишников В.С. Профессиональный риск ущерба здоровью у работников современного производства сульфатной целлюлозы // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2011. – Т. 79, № 3–2. – С. 123–128.
10. Сетко Н.П., Булычева Е.В. Современные аспекты оценки профессиональных факторов риска и здоровья рабочих предприятий нефтехимической промышленности (обзор) // Оренбургский медицинский вестник. – 2017. – Т. 5, № 3 (19). – С. 4–9.
11. Климова И.В. Применение методов нечеткого моделирования для решения задач техноферной безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S7. – С. 87–98.

12. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 166 с.
13. Fuzzy logic based risk assessment system giving individualized advice for metabolic syndrome and fatal cardiovascular diseases / H. Korkmaz, E. Canayaz, S. Birtane, A. Altıkardeş // Technol Health Care. – 2019. – Vol. 27, № 1. – P. 59–66. DOI: 10.3233/THC-199007
14. Fuzzy decision support systems to diagnose musculoskeletal disorders: A systematic literature review / M. Farzandipour, E. Nabovati, S. Saeedi, E. Fakharian // Comput Methods Programs Biomed. – 2018. – № 163. – P. 101–109. DOI: 10.1016/j.cmpb.2018.06.002
15. Miranda G.H.B., Felipe J.C. Computer-aided diagnosis system based on fuzzy logic for breast cancer categorization // Computers in Biology and Medicine. – 2015. – Vol. 64, № 1. – P. 334–346. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2014.10.006
16. Alonso A.L., Rosas-Jaimes O.A., Suarez-Cuenca J.A. Fuzzy Logic Assisted Diagnosis for Atherogenesis Risk // IFAC Proceedings Volumes. – 2013. – Vol. 46, № 31. – P. 244–248.
17. Zimmerman H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. – 315 p.

Методические подходы к оценке категорий профессионального риска, обусловленного различными видами нарушений здоровья работников, связанными с комплексом факторов рабочей среды и трудового процесса / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, В.Б. Алексеев, А.А. Савочкина, А.И. Савочкин, Е.В. Хрущева // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 4. – С. 23–30. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.03

UDC 613.6.027
DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.03.eng



Research article

METHODICAL APPROACHES TO ASSESSING CATEGORIES OF OCCUPATIONAL RISK PREDETERMINED BY VARIOUS HEALTH DISORDERS AMONG WORKERS RELATED TO OCCUPATIONAL AND LABOR PROCESS FACTORS

**N.V. Zaitseva¹, P.Z. Shur¹, V.B. Alekseev¹, A.A. Savochkina²,
A.I. Savochkin³, E.V. Khrushcheva¹**

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskiy Ave., Perm, 614990, Russian Federation

³National Research University «Higher School of economics», 20 Myasnitskaya Str., Moscow, 101000, Russian Federation

If we want to assess occupational risks predetermined by various health disorders among workers related to occupational factors and labor process factors, we need to examine whether additional methods can be applied here; these methods should allow not only quantitative determination of occupational risk but also its adequate categorizing. A procedure for risk assessment based on fuzzy sets analysis can be considered and applied for the matter.

© Zaitseva N.V., Shur P.Z., Alekseev V.B., Savochkina A.A., A.I. Savochkin, Khrushcheva E.V., 2020

Nina V. Zaitseva – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Pavel Z. Shur – Doctor of Medical Sciences, Academic Secretary (e-mail: shur@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>).

Vadim B. Alekseev – Doctor of Medical Sciences, Director (e-mail: alekseev@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 236-32-70; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-5493>).

Anna A. Savochkina – Senior lecturer at the Higher Mathematics Department (e-mail: aidas_76@mail.ru; tel.: +7 (342) 239-16-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-6632>).

Andrei I. Savochkin – Student (e-mail: savochkin.andrei2014@gmail.com; tel.: +7 (992) 237-16-56; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3591-2718>).

Ekaterina V. Khrushcheva – Senior researcher acting as a Head of the Laboratory for Risk Management Methods and Technologies (e-mail: zem@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>).

Suggested methodical approaches to occupational risk assessment based on this procedure involve step-by-step accomplishment of the following stages: determining fuzzy figures corresponding to preset occupational risk levels; preparing initial data (numeric characteristics of occupational risk) for calculations; probabilistic assessment whether a numeric characteristic of occupational risk belongs to fuzzy numbers; and estimated probability of belonging of occupational risk numeric characteristic. A basic instrument for implementing the procedure is determining a membership function for a trapezoid fuzzy number that estimates whether determined risk assessments belong to a specific risk category.

We suggested a scale for assessing occupational risk levels, starting from negligible ($0-1 \cdot 10^{-4}$) to extremely high ($3 \cdot 10^1-1$) and corresponding boundaries of trapezoid fuzzy interval (four figures that define a trapezoid number).

The procedure was tested in a situation when occupational diseases (sensorineural hearing loss), work-related diseases (arterial hypertension), and their combinations were revealed under exposure to noise equal to 85 dBA; the tests allowed establishing that membership functions were equal to 1 for all risk levels determined as per results obtained via epidemiologic research.

Key words: occupational risk, risk categories, permissible risk, noise factor, labor process, occupational factors, fuzzy sets, trapezoid fuzzy number.

References

1. Topilin A.V. Russia's labor potential: demographic and socio-economic problems of formation and utilization. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2019, vol. 89, no. 7, pp. 736–744 (in Russian).
2. Izmerov N.F. Occupational assessment and management are the basis of prophylaxis in occupational medicine. *Gigiena i sanitariya*, 2006, no. 5, pp. 14–16 (in Russian).
3. Izmerov N.F., Simonova N.I., Nizyaeva I.V. Study and analysis of occupational risk profile. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2015, no. 9, pp. 60–61 (in Russian).
4. Zheglova A.V. Personalized occupational risk and longevity. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 9, pp. 627 (in Russian).
5. Simonova N.I. Assessment of individual occupational risk. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh*, 2015, no. 3, pp. 15–22 (in Russian).
6. Prokopenko L.V., Kur'ev N.N., Lagutina A.V., Pochtareva E.S. Identification and assessment of the group redundant (attributive) risk of hearing loss from noise. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 4, pp. 212–218 (in Russian).
7. Chebotarev A.G., Gibadulina I.Yu. Occupational risks, respiratory pathology of mine workers operating self-propelled vehicles with diesel engines. *Gornaya promyshlennost'*, 2016, no. 2 (126), pp. 75 (in Russian).
8. Valeeva E.T., Bakirov A.B., Karimova L.K. Occupational risks for chemical workers' health. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2013, no. 5–6, pp. 124–128 (in Russian).
9. Meshchakova N.M., Rukavishnikov V.S. Occupational loss risk for the health state in employees of modern sulfate cellulose production. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*, 2011, no. 3–2 (79), pp. 123–128 (in Russian).
10. Setko N.P., Bulycheva E.V. Modern aspects of estimation of professional risk and health factors of working enterprises of the petrochemical industry (review). *Orenburgskii meditsinskii vestnik*, 2017, vol. 5, no. 3 (19), pp. 4–9 (in Russian).
11. Klimova I.V. Application of methods of fuzzy modeling for solving problems of technosphere safety. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2019, no. S7, pp. 87–98 (in Russian).
12. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoi peremennoi i ego primenenie k prinyatiyu u priblizhennykh reshenii [Linguistic variable and its application in finding approximate solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976, 166 p. (in Russian).
13. Korkmaz H., Canayaz E., Birtane S., Altıkardeş A. Fuzzy logic based risk assessment system giving individualized advice for metabolic syndrome and fatal cardiovascular diseases. *Technol Health Care*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 59–66. DOI: 10.3233/THC-199007
14. Farzandipour M., Nabovati E., Saeedi S., Fakharian E. Fuzzy decision support systems to diagnose musculoskeletal disorders: A systematic literature review. *Comput Methods Programs Biomed*, 2018, no. 163, pp. 101–109. DOI: 10.1016/j.cmpb.2018.06.002
15. Miranda G.H.B., Felipe J.C. Computer-aided diagnosis system based on fuzzy logic for breast cancer categorization. *Computers in Biology and Medicine*, 2015, vol. 64, no. 1, pp. 334–346. DOI: 10.1016/j.combiomed.2014.10.006
16. Alonso A.L., Rosas-Jaimes O.A., Suarez-Cuenca J.A. Fuzzy Logic Assisted Diagnosis for Atherogenesis Risk. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, vol. 46, no. 31, pp. 244–248.
17. Zimmermann H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers Publ., 1996, 315 p.

Zaitseva N.V., Shur P.Z., Alekseev V.B., Savochkina A.A., A.I. Savochkin, Khrushcheva E.V. Methodical approaches to assessing categories of occupational risk predetermined by various health disorders among workers related to occupational and labor process factors. Health Risk Analysis, 2020, no. 4, pp. 23–30. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.03.eng

Получена: 10.09.2020

Принята: 08.12.2020

Опубликована: 30.12.2020