

Научная статья

## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА С УТОЧНЕНИЕМ ЕГО КАТЕГОРИЙ ПРИ ПОМОЩИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ

В.А. Фокин, Н.В. Зайцева, П.З. Шур, С.В. Редько, Е.В. Хрущева

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

*Существующие подходы к оценке профессионального риска чаще предусматривают его оценку на групповом уровне и реже – на индивидуальном. Данные подходы дают детерминированную оценку уровней риска, не учитывающую неопределенность в категорировании риска при его значениях, близких к границе смежных категорий риска, что обуславливает необходимость оценки уровней профессионального риска с использованием вероятностных методов.*

*Объектом исследования являлся профессиональный риск, предметом исследования – распределение уровней персонального профессионального риска среди работников. Группа наблюдения – операторы по добыче нефти и газа (ОДНГ) с уровнем шума на рабочих местах 80–85 дБА (173 человека). Группа сравнения – ОДНГ и инженерно-технический персонал с уровнем шума на рабочих местах 60–77,8 дБА (259 человек). Проведены: априорная оценка профессионального риска; эпидемиологический анализ причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой; расчет группового уровня профессионального риска; расчет и прогнозирование персонального профессионального риска с использованием математического моделирования зависимости вероятности негативных ответов от условий труда, возраста и стажа; уточнение категории риска с использованием метода нечетких множеств путем расчета функции принадлежности.*

*В результате установлено, что распределение доказанных персональных уровней риска по категориям внутри группы, характеризующейся подозреваемым средним уровнем риска, является неравномерным ( $1,06 \cdot 10^{-4}$ – $1,47 \cdot 10^{-2}$ ). Распределение вероятности принадлежности доказанных персональных уровней риска после уточнения их категории с использованием метода нечетких множеств показало, что на момент исследования доля работников, доказанный персональный риск которых относится к более низким категориям риска ( $p > 0,5$ ), составила 89,6 %.*

*Прогнозирование риска на период всего трудового стажа при продолжении трудовой деятельности в тех же условиях без проведения профилактических мероприятий показало, что уровни персонального риска будут являться неприемлемыми для всех работников группы наблюдения и составят  $2,53 \cdot 10^{-2}$ – $3,51 \cdot 10^{-2}$ , также ожидается увеличение категории риска. Для большинства работников персональный риск будет категорирован как средний, для 23 % ( $p < 0,5$ ) – как высокий.*

**Ключевые слова:** профессиональный риск, шум, вероятностная оценка, категорирование уровня риска, регрессионные модели, прогнозирование уровней риска, нейросенсорная тугоухость, нечеткие множества.

Существующие в настоящее время методические подходы к оценке профессионального риска здоровью предусматривают чаще всего его оценку на групповом уровне [1–4] и гораздо реже – на индивидуальном [5]. В зарубежной практике профессиональный риск с использованием эпидемиологических оценок связи заболеваемости с условиями

труда и расчета относительного риска также в основном рассчитывается на групповом уровне [6–8].

Указанные выше подходы позволяют провести оценку профессиональных рисков больших групп работников различных профессий на основе данных об условиях труда и состоянии здоровья работников, преимущественно профессиональной заболе-

© Фокин В.А., Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Хрущева Е.В., 2021

**Фокин Владимир Андреевич** – научный сотрудник отдела анализа риска здоровью (e-mail: fokin@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

**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>).

**Редько Светлана Валентиновна** – старший научный сотрудник отдела анализа риска здоровью (e-mail: redkosv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Хрущева Екатерина Вячеславовна** – старший научный сотрудник отдела анализа риска здоровью (e-mail: hrusheva@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>).

ваемости. При этом данные подходы дают детерминированную оценку уровней риска, которая может обуславливать неопределенность в категорировании риска при значениях уровней профессионального риска, близких к границам смежных категорий.

Вместе с тем индивидуальные особенности развития заболеваний, возникающих под воздействием вредных факторов условий труда, обуславливают необходимость количественной оценки профессиональных рисков не только на групповом, но и на персональном уровне. Категорирование группового уровня профессионального риска для больших групп работников не учитывает особенности распределения уровней риска на индивидуальном уровне по категориям внутри группы.

Наиболее значительных отклонений оценок персональных рисков от групповых можно ожидать в случаях, когда величина группового риска близка к границе смежных категорий риска. Анализ вероятности отнесения уровней персонального риска к той или иной категории может позволить уточнить результаты оценки профессионального риска и более адекватно формировать группы риска для проведения профилактических мероприятий.

К настоящему времени предложены методические подходы к вероятностным оценкам профессионального риска с использованием теории нечетких множеств с целью уточнения степени принадлежности персональных уровней риска к той или иной категории [9].

Наиболее актуальным является применение этих подходов при оценке профессионального риска для работающих в условиях воздействия шума на уровне выше гигиенических нормативов. Шум, в том числе на уровне выше ПДУ, остается одним из ведущих факторов в формировании профессиональной патологии, прежде всего нейросенсорной тугоухости [10–13]<sup>1</sup>. По мнению ряда авторов, это связано с ростом механизации и автоматизации в различных отраслях производства (нефтедобыче и нефтепереработке, металлургии и металлообработке, машиностроении, строительстве и др.) [14]. Как следствие, увеличивается контингент лиц, подвергающихся такому влиянию в условиях длительного использования устаревшего оборудования, не отвечающего санитарно-гигиеническим нормативам [10, 14, 15]<sup>1</sup>. Число работников, подвергающихся производственному воздействию сверхнорматив-

ных уровней шума, составляет ежегодно более 3 млн человек [16].

Увеличение периода трудоспособности в связи с пенсионной реформой [17] обуславливает необходимость прогнозирования профессионального риска в течение всей трудовой деятельности [18, 19]. Исходя из изложенного, можно заключить, что оценка уровней профессионального риска для здоровья работников, находящихся под воздействием производственного шума на уровне выше гигиенических нормативов, с использованием вероятностных методов является актуальной.

**Цель исследования** – оценка и прогнозирование персонального профессионального риска для работников, находящихся под воздействием производственного шума на уровне выше гигиенических нормативов, за период трудовой деятельности и изучение изменения категорий риска с применением вероятностных методов.

**Материалы и методы.** Анализ информации об условиях труда (данные специальной оценки условий труда, производственного лабораторного контроля), стаже и возрасте работающих, оценка классов условий труда в соответствии с Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»<sup>2</sup>, категорирование риска в соответствии с Р 2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки»<sup>3</sup>.

Применение методических подходов к вероятностной оценке принадлежности уровней профессионального риска к той или иной категории для работников, находящихся под воздействием производственного шума на уровне выше гигиенических нормативов, производилось на примере оценки риска для здоровья работников нефтедобывающей промышленности.

В группу наблюдения вошли операторы по добыче нефти и газа с уровнем шума на рабочих местах 80–85 дБА (173 человека, средний возраст – 39,7 г.; средний стаж – 12,7 г.). В группу сравнения вошли операторы по добыче нефти и газа и инженерно-технологический персонал с уровнем шума на рабочих местах 60–77,8 дБА (259 человек, средний возраст – 46,8 г.; средний стаж – 12,6 г.).

<sup>1</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.

<sup>2</sup> Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 июля 2005 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 17.08.2021).

<sup>3</sup> Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки / утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 24 июня 2003 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901902053> (дата обращения: 17.08.2021).

Оценка профессионального риска здоровью выполнялась по следующему алгоритму:

1. Априорная оценка профессионального риска по результатам СОУТ в соответствии с положениями руководства Р 2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки»<sup>3</sup>.

2. Эпидемиологический анализ причинно-следственной связи нарушений здоровья с работой.

3. Оценка группового уровня профессионального риска.

4. Оценка персонального профессионального риска с использованием математического моделирования зависимости величины вероятности негативных ответов от условий труда, возраста и стажа.

5. Оценка персонального риска здоровью, обусловленного заболеваниями, связанными с работой, с использованием полученных параметров модели.

6. Уточнение категории риска с использованием метода нечетких множеств.

Предлагаемый алгоритм предполагает использование комплекса методов, включая:

– оценку причинно-следственной связи изменений здоровья с шумовой экспозицией, осуществленной по критериям отношения рисков ( $RR$ ) и этиологической доли ( $EF$ ) негативных ответов;

– анализ зависимости «экспозиция – ответ», проводившийся с использованием логистических регрессионных моделей зависимости величины вероятности изменений здоровья от условий труда, возраста и стажа, сформированных с использованием программного средства Statistica 6.0 [20] (1):

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

где  $p_1$  – вероятность негативного ответа (профессионального заболевания или болезни, связанной с условиями труда);  $x_1$  – уровень экспозиции фактора;  $x_2$  – стаж;  $x_3$  – возраст;  $b_0, b_1, b_2$  – параметры математической модели.

Параметры представленной модели были использованы для расчета прогнозных величин развития заболеваний и профессионального риска к моменту достижения возраста 65 лет. Риск здоровью определяли как произведение вероятности развития заболевания на его тяжесть<sup>4</sup>. В качестве критерия приемлемости (допустимости) уровня профессионального риска здоровью рассматривалась величина  $1 \cdot 10^{-3}$  и ниже, соответствующая категориям пренебрежимо малого и малого риска.

Полученные уровни профессионального риска рассматривались как детерминированные величины,

оценку которых (отнесение к определенной категории риска) осуществляли в соответствии со шкалой, представленной в табл. 1 [9].

Таблица 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

Вероятностная оценка принадлежности персонального риска проводилась путем определения функции принадлежности с использованием шкалы нечетких чисел, построенной на основе детерминированной шкалы оценки уровней профессионального риска.

Принадлежность уровней риска к той или иной категории определяется с использованием трапециевидных нечетких чисел: пренебрежимо малый риск – 0; 0; 0,00005; 0,00033; малый риск – 0,00005; 0,00033; 0,00078; 0,00325; умеренный риск – 0,00078; 0,00325; 0,0775; 0,015; средний риск – 0,0775; 0,015; 0,025; 0,0475; высокий риск – 0,025; 0,0475; 0,0825; 0,15; очень высокий риск – 0,0825; 0,15; 0,25; 0,53; экстремально высокий риск – 0,25; 0,53; 1; 1<sup>5</sup>.

Для графического представления шкалы трапециевидных нечетких чисел для оценки уровней профессионального риска использована следующая система координат: на оси абсцисс – риск, а по оси ординат – значение функции принадлежности для этого значения (рис. 1).

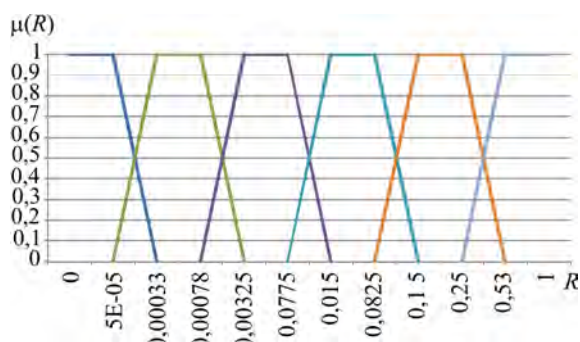


Рис. 1. Графическое представление шкалы трапециевидных нечетких чисел для оценки уровней профессионального риска

<sup>4</sup> Профессиональная патология: национальное руководство / под ред. Н.Ф. Измерова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 784 с.

<sup>5</sup> Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

Использование трапециевидных нечетких чисел позволяет уточнять принадлежность величины риска к категориям. С учетом полученных оценок функций принадлежности трапециевидного нечеткого числа, которая показывает вероятность отнесения риска к определенной категории от 0 до 1, производится определение уточненных уровней риска, при значении функции принадлежности, равном 1, дальнейшее уточнение категории риска не проводится.

С учетом полученных оценок функций принадлежности трапециевидного нечеткого числа производится определение веса категории риска ( $P_k$ ) по формуле (2):

$$P_k = \sum_i q_i \cdot \mu_{ki}(R_{ПЗ(БСР)}^{\text{проф}}), \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \quad (2)$$

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 (3):

$$q_i = \frac{2(n-i+1)}{(n+1)n}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \quad (3)$$

где  $n$  – количество категорий риска.

Находим степень тяжести для уточнения риска по формуле (4):

$$SR_k = \sum_{k=1}^7 \bar{r}_k \cdot P_k, \quad (4)$$

где  $r$  – значение переменной, отражающей уточненный риск в виде заболевания определенной степени тяжести;  $\bar{r}_k$  – середина каждого диапазона шкалы значений степени риска;  $P_k$  – вес категории риска;  $SR_k$  – степень тяжести для уточнения риска по каждому из заболеваний.

Принадлежность уточненных уровней риска к той или иной категории определяется с помощью трапециевидных нечетких чисел: пренебрежимо малый риск – 0; 0,042; 0,125; малый риск – 0,042; 0,125; 0,208; 0,292; умеренный риск – 0,208; 0,292; 0,375; 0,458; средний риск – 0,375; 0,458; 0,542; 0,625; высокий риск – 0,542; 0,625; 0,708; 0,792; очень высокий риск – 0,708; 0,792; 0,875; 0,958; экстремально высокий риск – 0,875; 0,958; 1; 1.

**Результаты и их обсуждение.** В результате априорной оценки подозреваемого профессионального риска по классу условий труда (уровень шума от 80 до 85 дБА соответствует классу условий труда 3.1) в соответствии с руководством Р 2.2.1766-03<sup>3</sup> риск отнесен к категории «малый риск»; риск для работников группы сравнения отнесен к категории «пренебрежимо малый риск» (уровень шума ниже 80 дБА, КУТ 2).

В ходе медицинского осмотра и анализа заключительных актов по результатам проведения ПМО среди 173 работников группы наблюдения было выявлено семь случаев профессиональных заболеваний

(нейросенсорной тугоухости), а также ряд болезней, связанных, вероятно, с условиями труда: 40 случаев артериальной гипертензии, один случай мигрени, 52 – нарушений функций вегетативной нервной системы. В группе сравнения среди 259 работников выявлены: один случай нейросенсорной тугоухости, 66 – артериальной гипертензии, один случай мигрени, 145 – нарушений функций вегетативной нервной системы.

Достоверных причинно-следственных связей болезней, связанных вероятно, с условиями труда (артериальной гипертензии, мигрени, нарушений функций вегетативной нервной системы) с экспозицией шумового фактора не выявлено, поэтому дальнейшая оценка уровней профессионального риска проводилась в отношении установленных центром профессиональной патологии случаев нейросенсорной тугоухости.

Вероятность развития нейросенсорной тугоухости составила  $3,91 \cdot 10^{-2}$  в группе наблюдения и  $3,86 \cdot 10^{-3}$  в группе сравнения. Дополнительная вероятность развития нейросенсорной тугоухости составила  $3,52 \cdot 10^{-2}$ .

Уровень доказанного группового риска с учетом тяжести ( $0,3^4$ ) нейросенсорной тугоухости составил  $1,13 \cdot 10^{-2}$  (категория риска – «средний»), полученный уровень незначительно отличается от умеренного риска, в связи с чем проведены дальнейший расчет персональных уровней риска и уточнение категории полученных значений риска.

В ходе оценки зависимости «экспозиция – ответ» были получены параметры математической модели, отражающие вероятность развития нейросенсорной тугоухости в зависимости от уровня шума, стажа и возраста работников:  $b_0 = -7,35$ ,  $b_1 = 0,00014$ ,  $b_2 = 0,074$ . Уровни доказанного персонального риска в группе наблюдения, рассчитанные с использованием полученных параметров, составили от  $1,06 \cdot 10^{-4}$  до  $1,47 \cdot 10^{-2}$ . Неприемлемые уровни профессионального риска (выше  $1 \cdot 10^{-3}$  – «умеренный риск» и выше) отмечались у 139 работников из 173 (80,35 % от общего числа лиц, находящихся под воздействием шума выше 80 дБА).

Результаты категорирования уровней доказанного персонального профессионального риска с использованием вероятностной оценки представлены в табл. 2.

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

В результате применения предложенного алгоритма по результатам оценки степени принадлежности персонального профессионального риска к той или иной категории на настоящий момент установлены следующие уточненные категории доказанного персонального риска:

– профессиональный риск категорирован как «малый» для 19,7 % работников группы наблюдения, при этом 32,4 % работников с малым уровнем риска находятся на границе с умеренным риском;

Результаты категорирования уровней персонального профессионального риска

Категория риска	Количество работников, отнесенных к категории риска, абс.	Вероятность принадлежности работников к категории риска, абс.	
		0,51–0,99	1
<i>Малый:</i>	34	11	23
из них на границе с умеренным риском	11	–	–
<i>Умеренный:</i>	121	45	76
из них на границе с малым риском	26	–	–
из них на границе со средним риском	19	–	–
<i>Средний</i>	18	13	5
из них на границе с умеренным риском	13	–	–

– профессиональный риск категорирован как «умеренный» для 69,9 % работников группы наблюдения, при этом 21,5 % работников с умеренным уровнем риска находятся на границе с малым риском, а 15,7 % – на границе со средним уровнем риска;

– профессиональный риск категорирован как «средний» для 10,4 % работников наблюдения, 72,2 % работников со средним уровнем риска находятся на границе с умеренным уровнем риска.

В результате расчета прогнозных уровней персонального риска, рассчитанных к моменту достижения работниками 65-летнего возраста, установлено, что уровни доказанного риска повысятся и достигнут величин от  $2,53 \cdot 10^{-2}$  до  $3,51 \cdot 10^{-2}$ . Вероятностная оценка принадлежности персонального риска позволила классифицировать риск как средний (табл. 3).

Вероятностная оценка персонального риска с целью уточнения категории показывает, что для всей группы наблюдения к моменту достижения возраста 65 лет доказанный персональный риск будет категорирован как средний; 23 % работников находятся на границе с категорией высокого риска.

**Выводы.** В результате исследования состояния здоровья работающих в условиях шумовой нагрузки выше гигиенических нормативов установлено, что подозреваемый риск, установленный при оценке результатов СОУТ, относится к категории среднего риска. При этом распределение доказанных персональных уровней риска, обусловленного профессиональным заболеванием (нейросенсорной туго-

ухостью), внутри группы является неравномерным (от  $1,06 \cdot 10^{-4}$  до  $1,47 \cdot 10^{-2}$ ). Категория малого (примемлемого) персонального риска установлена для 19,7 % работников, категория умеренного риска – для 69,9 %, категория среднего риска – для 10,4 %.

Распределение вероятности принадлежности доказанных персональных уровней риска после уточнения их категории показало, что на момент исследования доля работников, персональный риск которых с вероятностью более 0,5 относится к более низким категориям риска, составила 89,6 %.

Результаты оценки принадлежности доказанных уровней персонального риска на момент исследования и на момент достижения работниками 65-летнего возраста представлены на рис. 2.

Таблица 3

Вероятностная оценка принадлежности персонального риска к определенной категории на момент достижения работниками 65-летнего возраста

Категория риска	Количество работников, отнесенных к категории риска, абс.	Вероятность принадлежности работников к категории риска, абс.	
		0,51–0,99	1
<i>Средний</i>	173	40	133
из них на границе с высоким риском	40	–	–

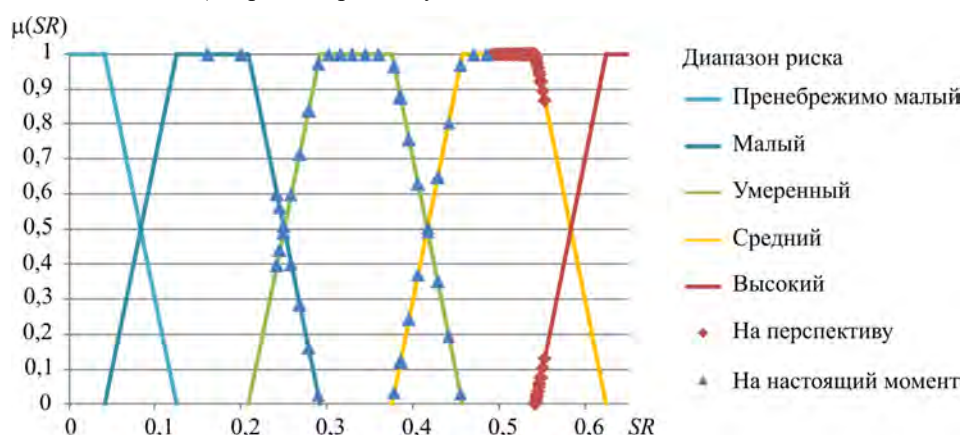


Рис. 2. Результаты оценки принадлежности доказанных уровней персонального риска на момент исследования и на момент достижения работниками 65-летнего возраста

При прогнозировании изменения величин доказанного риска для здоровья обследованных работников на период всего трудового стажа (до 65 лет) определено, что при продолжении трудовой деятельности в тех же условиях без проведения профилактических мероприятий отмечается увеличение категории риска. Уровни доказанного персонального риска будут являться неприемлемыми для всех работников группы наблюдения и составят от  $2,53 \cdot 10^{-2}$  до  $3,51 \cdot 10^{-2}$ . При этом для большинства работников доказанный персональный риск будет

категорирован как средний, а для 23 % ( $p < 0,5$ ) уровень риска будет относиться к категории высокого риска. Этим работникам следует рассматривать как приоритетный контингент для проведения профилактических мероприятий, направленных на снижение профессионального риска.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Итоги оценки профессионального риска для здоровья работников по материалам СОУТ, производственного контроля и профессиональной заболеваемости / О.Ф. Рослий, А.А. Федорук, О.Г. Другова, Э.Г. Плотно // Управление риском для здоровья работающих и населения в связи с хозяйственной деятельностью предприятий металлургической промышленности: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Екатеринбург: Изд-во ФБУН ЕМНЦ ПООЗРПП Роспотребнадзора, 2017. – С. 119–125.
2. Головова Н.П., Котова Н.И., Чеботарев А.Г. Оценка уровня профессионального риска у работников горно-металлургических предприятий по результатам специальной оценки условий труда // Современные проблемы медицины труда: материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию академик РАН Н.Х. Амброва. – Казань: Казанский ГМУ, ФГБНУ «НИИ МТ», 2019. – С. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54
3. Громкость и вредность шума: феноменология, измерение и оценка / Э.И. Денисов, Л.В. Прокопенко, И.В. Степанян, П.В. Чесалин // Гигиена и санитария. – 2009. – № 5. – С. 26–29.
4. Денисов Э.И., Чесалин П.В. Профессионально обусловленная заболеваемость и ее доказательность // Медицина труда и промышленная экология. – 2007. – № 10. – С. 1–9.
5. Сравнительный анализ результатов оценки профессионального риска на основе различных методических подходов / Н.И. Симонова, И.В. Низяева, С.Г. Назаров, Е.А. Журавлева, Н.С. Кондрова, Е.Г. Степанов, Р.М. Фасиков, С.М. Григорьева [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2012. – № 1. – С. 13–19
6. Quantitative differences between common occupational health risk assessment models / Q. Xu, F. Yu, F. Li, H. Zhou, K. Zheng, M. Zhang // J. Occup. Health. – 2020. – Vol. 62, № 1. – P. e12164. DOI: 10.1002/1348-9585.12164
7. Occupational risk for post-traumatic stress disorder and trauma-related depression: a systematic review with meta-analysis / G. Petereit-Haack, U. Bolm-Audorff, K. Romero Starke, A. Seidler // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – Vol. 17, № 24. – P. 9369. DOI: 10.3390/ijerph17249369
8. Gunnarsson L.-G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 3. – P. 337 DOI: 10.3390/ijerph16030337
9. 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
10. Новые возможности применения вариаций гена MTHFR как маркера индивидуальной чувствительности при оценке профессионального риска гипертензии в условиях воздействия шума / Д.М. Шляпников, П.З. Шур, В.Б. Алексеев, В.М. Ухабов, В.Г. Новоселов, А.Я. Перевалов // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 8. – С. 6–10.
11. Благинина Т.Ф., Болотнова Т.В. Нейросенсорная тугоухость – предиктор эндотелиальной дисфункции при некоторых неинфекционных заболеваниях у работающих (обзор междисциплинарных исследований) // Кубанский научный медицинский вестник. – 2020. – Т. 27, № 2. – С. 113–126. DOI: 10.25207/1608-6228-2020-27-2-113-126
12. Сюрин С.А. Производственный шум и профессиональная тугоухость на предприятиях арктической зоны России // Безопасность и охрана труда. – 2020. – Т. 82, № 1. – С. 49–53.
13. Кузнецова Г.И. Влияние шума на здоровье работников нефтедобывающей промышленности // Здравоохранение Югры: опыт и инновации. – 2021. – Т. 28, № 3. – С. 53–60.
14. Шайхлисламова Э.Р., Волгарева А.Д. Профессиональная патология, вызванная воздействием шумовибрационного фактора в Республике Башкортостан: динамика, клинические особенности // Безопасность и охрана труда. – 2019. – Т. 81, № 4. – С. 38–41.
15. Зинкин В.Н., Шешегов П.М., Чистов С.Д. Клинические аспекты профессиональной сенсоневральной тугоухости акустического генеза // Вестник оториноларингологии. – 2015. – Т. 80, № 6. – С. 65–70.
16. Панкова В.Б., Таваркиладзе Г.А., Мухамедова Г.Р. Профессиональная тугоухость: новые подходы к диагностике, экспертизе трудоспособности и реабилитации // Медицина экстремальных ситуаций. – 2013. – Т. 43, № 1. – С. 25–29.
17. Кравченко Е.В., Суховеева А.А. Целевые ориентиры и современные тенденции развития пенсионного обеспечения в России // Экономика, предпринимательство и право. – 2021. – Т. 11, № 5. – С. 1063–1076. DOI: 10.18334/ep.11.5.112081
18. Новикова Т.А., Михайлова Н.А., Райкин С.С. Профессиональный риск ускоренного старения работников, занятых во вредных и опасных условиях труда (обзор литературы) // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Саратов, 2018. – С. 114–129.
19. Риск повреждения здоровья работающих во вредных и опасных условиях труда и возможность его минимизации / Е.М. Власова, О.Ю. Устинова, Г.З. Файнбург, А.Н. Петров // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей: материалы I Международной научно-практической конференции. – Пермь, 2018. – С. 11–24.
20. Фокин В.А. Оценка риска здоровью работников добывающих отраслей в условиях воздействия шума выше 80 дБА // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60, № 11. – С. 867–869. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-867-869

*Оценка и прогнозирование персонального профессионального риска с уточнением его категорий при помощи вероятностных методов / В.А. Фокин, Н.В. Зайцева, П.З. Шур, С.В. Редько, Е.В. Хрущева // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 4. – С. 92–99. DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.10*

Research article

## ASSESSING AND PREDICTING INDIVIDUAL OCCUPATIONAL RISK AND DETERMINING ITS EXACT CATEGORIES USING PROBABILISTIC METHODS

**V.A. Fokin, N.V. Zaitseva, P.Z. Shur, S.V. Redko, E.V. Khrusheva**

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

Existing approaches to occupational risk assessment more often involve evaluating its group levels and individual risks are assessed less frequently. These approaches provide deterministic risk assessment which doesn't take into account uncertainty in risk categorizing when its values are close to boundaries between adjoining risks categories. It substantiates the necessity to assess occupational risk levels using probabilistic methods.

Our research object was occupational risk and the basic subject was distribution of individual occupational risk levels among workers. Our test group was made up of oil and gas extraction operators exposed to noise equal to 80–85 dBA at their workplaces (173 people). Our control group included oil and gas extraction operators and engineering and technical personnel occupationally exposed to noise equal to 60–77.8 dBA (259 people). We performed a priori assessment of occupational health risks; accomplished epidemiologic analysis of a cause-effect relation between health disorders and work; calculated group occupational health risks; calculated and predicted individual occupational risk using mathematical modeling of dependence between probable negative responses and working conditions, age, and period of employment; determined risk categories more precisely using fuzzy sets by calculating the membership function.

As a result, we established that proven individual risk levels were distributed unevenly ( $1.06 \cdot 10^{-4}$ – $1.47 \cdot 10^{-2}$ ) as per categories within a group characterized with a suspected average risk level. A category of proven individual risk levels was determined more precisely using fuzzy sets; after that distribution of probability of their membership was evaluated to detect that at the moment of the research a share of workers with their proven individual occupational risks falling into lower risk categories ( $p > 0.5$ ) amounted to 89.6 %.

We attempted to predict risks for the whole employment period given that working conditions remained the same and no prevention activities were provided. Our prediction revealed that individual occupational risks would remain unacceptable for all workers in the test group and would amount to  $2.53 \cdot 10^{-2}$ – $3.51 \cdot 10^{-2}$ ; a risk category was also expected to become higher. Individual occupational risk would be categorized as average for most workers and as high for 23 % of them ( $p < 0.5$ ).

**Key words:** occupational risk, noise, probabilistic assessment, risk level categorizing, regression models, risk level prediction, sensorineural hearing loss, fuzzy sets.

### References

1. Roslyi O.F., Fedoruk A.A., Drugova O.G., Plotko E.G. Itogi otsenki professional'nogo riska dlya zdorov'ya rabotnikov po materialam SOUT, proizvodstvennogo kontrolya i professional'noi zabol'evaemosti [The results of assessing occupational health risks for workers based on the materials of a special assessment of working conditions, production control and occupational morbidity]. *Upravlenie riskom dlya zdorov'ya rabotayushchikh i naseleniya v svyazi s khozyaystvennoy deyatel'nost'yu predpriyatii metallurgicheskoi promyshlennosti: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ekaterinburg, FBUN EMNTs POZRPP Rospotrebnadzora Publ., 2017, pp. 119–125 (in Russian).
2. Golovkova N.P., Kotova N.I., Chebotarev A.G. Otsenka urovnya professional'nogo riska u rabotnikov gorno-metallurgicheskikh predpriyatii po rezul'tatam spetsial'noi otsenki uslovii truda [Assessment of the level of occupational risk among workers employed at mining and metallurgical enterprises based on the results of a special assessment of working conditions]. *Sovremennye problemy meditsiny truda: materialy vs Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu akademika RAN N.Kh. Amirova*. Kazan', Kazanskii GMU, FGBNU "NII MT" Publ., 2019, pp. 51–54. DOI: 10.31089/978-5-6042929-0-7-2019-1-51-54 (in Russian).

© Fokin V.A., Zaitseva N.V., Shur P.Z., Redko S.V., Khrusheva E.V., 2021

**Vladimir A. Fokin** – researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: fokin@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>).

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

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

**Svetlana V. Red'ko** – senior researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: redkosv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2736-5013>).

**Ekaterina V. Khrusheva** – senior researcher at the Health Risk Analysis Department (e-mail: hrusheva@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 238-33-37; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-8993>).

3. Denisov E.I., Prokopenko L.V., Stepanyan I.V., Chesalin P.V. The loudness and hazard of noise; phenomenology, measurement, and evaluation. *Gigiena i sanitariya*, 2009, no. 5, pp. 26–29 (in Russian).
4. Denisov E.I., Tchesalin P.V. Occupationally related morbidity and its evidence. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2007, no. 10, pp. 1–9 (in Russian).
5. Simonova N.I., Nizyaeva I.V., Nazarov S.G., Zhuravlyova E.A., Kondrova N.S., Stepanov E.G., Fasikov R.M., Grigorieva S.M. [et al.]. Comparative analysis of occupational risk evaluation results through various methodic approaches. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2012, no. 1, pp. 13–19 (in Russian).
6. Xu Q., Yu F., Li F., Zhou H., Zheng K., Zhang M. Quantitative differences between common occupational health risk assessment models. *J. Occup. Health*, 2020, vol. 62, no. 1, pp. e12164. DOI: 10.1002/1348-9585.12164
7. Petereit-Haack G., Bolm-Audorff U., Romero Starke K., Seidler A. Occupational risk for post-traumatic stress disorder and trauma-related depression: a systematic review with meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 24, pp. 9369. DOI: 10.3390/ijerph17249369
8. Gunnarsson L.G., Bodin L. Occupational exposures and neurodegenerative diseases – a systematic literature review and meta-analyses. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 3, pp. 337. DOI: 10.3390/ijerph16030337
9. Zaitseva N.V., Shur P.Z., Alekseev V.B., Savochkina A.A., Savochkin A.I., 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
10. Shlyapnikov D.M., Shur P.Z., Alexeev V.B., Uhabov V.M., Novoselov V.G., Perevalov A.Ya. New potential of MTHFR gene variations application as an individual sensitivity marker in evaluation of occupational risk of arterial hypertension under exposure to noise. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2016, no. 8, pp. 6–10 (in Russian).
11. Blaginina T.F., Bolotnova T.V. Sensorineural hearing loss as a predictor of endothelial dysfunction in some non-communicable diseases in the working population (a review of interdisciplinary studies). *Kubanskii nauchnyi medicinskiy vestnik*, 2020, vol. 27, no. 2, pp. 113–126. DOI: 10.25207/1608-6228-2020-27-2-113-126 (in Russian).
12. Syurin S.A. Industrial noise and occupational noise-induced hearing loss at enterprises in the Russian arctic. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2020, vol. 82, no. 1, pp. 49–53 (in Russian).
13. Kuznetsova G.I. Vliyaniye shuma na zdorov'e rabotnikov nefteobryvayushchei promyshlennosti [Effects of noise on health of workers employed in oil extracting industry]. *Zdravookhraneniye Yugry: opyt i innovatsii*, 2021, vol. 28, no. 3, pp. 53–60 (in Russian).
14. Shaikhislamova E.R., Volgareva A.D. Occupational pathology caused by the influence of the noise-vibration factor in the republic of Bashkortostan: dynamics, clinical features. *Bezopasnost' i okhrana truda*, 2019, vol. 81, no. 4, pp. 38–41 (in Russian).
15. Zinkin V.N., Sheshegov P.M., Chistov S.D. The clinical aspects of occupational sensorineural impairment of hearing of the acoustic origin. *Vestnik otorinolaringologii*, 2015, no. 6, pp. 65–70 (in Russian).
16. Pankova V.B., Tavartkiladze G.A., Mukhamedova G.R. Occupational hearing loss: new approach to diagnostic, labour capacity examination and rehabilitation. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii*, 2013, vol. 43, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
17. Kravchenko E.V., Suhoveeva A.A. Targets and current trends in the development of pension provision in Russia. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2021, vol. 11, no. 5, pp. 1063–1076. DOI: 10.18334/epp.11.5.112081 (in Russian).
18. Novikova T.A., Mikhailova N.A., Raikin S.S. Professional'nyi risk uskorennoy stareniya rabotnikov, zanyatykh vo vrednykh i opasnykh usloviyakh truda (obzor literatury) [Occupational risk of accelerated aging of workers employed in hazardous and adverse working conditions]. *Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennykh usloviyakh: materialy mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*, 2018, pp. 114–129 (in Russian).
19. Vlasova E.M., Ustinova O.Yu., Fainburg G.Z., Petrov A.N. Health damage risk for workers in harmful and dangerous working conditions and possibility of its minimization. *Aktual'nye problemy ohrany truda i bezopasnosti proizvodstva, dobychi i ispol'zovaniya kaliino-magnievykh solei: materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Perm', 2018, pp. 11–24 (in Russian).
20. Fokin V.A. Health risk assessment for workers in the extractive industries under conditions of noise exposure above 80 dBA. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, vol. 60, no. 11, pp. 867–869. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-867-869 (in Russian).

Fokin V.A., Zaitseva N.V., Shur P.Z., Redko S.V., Khrushcheva E.V. Assessing and predicting individual occupational risk and determining its exact categories using probabilistic methods. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 4, pp. 92–99. DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.10.eng

Получена: 06.09.2021

Принята: 10.12.2021

Опубликована: 30.12.2021