



Научная статья

Инновационный подход к профилактике травм на горнодобывающих предприятиях на основе управления человеческим фактором

Е.И.КАБАНОВ¹✉, М.В.ТУМАНОВ¹, В.С.СМЕТАНИН², К.В.РОМАНОВ³

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

² АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

³ Военный институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Кабанов Е.И., Туманов М.В., Сметанин В.С., Романов К.В. Инновационный подход к профилактике травм на горнодобывающих предприятиях на основе управления человеческим фактором // Записки Горного института. 2023. Т. 263. С. 774-784. EDN DRHFAN

Аннотация. Обосновано влияние человеческой ошибки на риск травмирования персонала горнодобывающих предприятий. В ходе анализа существующих подходов к оценке профессиональных рисков доказана актуальность разработки метода количественной оценки риска травмирования горнорабочих, учитывающего их индивидуальные психофизиологические качества. Приведены результаты комплексного исследования, заключающегося в определении влияния индивидуальных психических и физических качеств работника на его склонность к производственным травмам в условиях ведения подземных горных работ. Статистическая обработка данных методами дискриминантного и регрессионного анализа позволила получить модели расчета ожидаемого персонального риска травмирования горнорабочих. На основании разработанных количественных моделей предложен метод оценки склонности горнорабочих к травмам, описан алгоритм его практического применения, проведена апробация на тестовой выборке. Приведены рекомендации по управлению человеческим фактором с учетом результатов применения предложенного метода, указана необходимость реализации комплекса защитных мероприятий по снижению риска травмирования персонала при подземной разработке месторождений.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие; производственный травматизм; человеческий фактор; психофизиологические качества; риск-ориентированный подход; управление риском; профессиональный отбор; управление персоналом

Благодарность. Исследование проведено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 г. № FSRW-2020-001.

Поступила: 13.10.2022

Принята: 11.10.2023

Онлайн: 27.10.2023

Опубликована: 27.10.2023

Введение. К числу отраслей с наиболее высокими профессиональными рисками следует отнести сферу добычи полезных ископаемых. По данным Фонда социального страхования и Государственной инспекции труда в России, 9 % всех несчастных случаев со смертельным исходом приходится на горнодобывающую отрасль, в которой 55 % рабочих мест характеризуются вредными и опасными условиями труда. Проблема травматизма на современных горнодобывающих предприятиях отягощается тем, что их модернизация сопровождается внедрением более производительного, технически сложного и травмоопасного оборудования. Это приводит к увеличению нагрузок на горнорабочих и, как следствие, к росту степени тяжести производственных травм и продолжительности периода восстановления. В подобных условиях проблема управления человеческим фактором становится все более значительной, что подтверждается возрастающей долей несчастных случаев, произошедших по вине самих пострадавших. По различным оценкам [1, 2], от 76 до 95 % несчастных случаев в минерально-сырьевой отрасли происходят в первую очередь по причине ошибочных действий работников. Эта тенденция объясняется тем, что по мере развития



технических систем опасность технологических процессов возрастает быстрее, чем совершенствуются психофизиологические возможности человека ей противодействовать [3]. Лимитирующим фактором борьбы с авариями и несчастными случаями стал сам человек, а деятельность по минимизации технических отказов без повышения надежности человеческого фактора представляется малоэффективной [4, 5].

Вариативность индивидуальных личностных качеств приводит к тому, что горнорабочие не являются равными друг другу по способностям, склонности к риску и производственным травмам. Различия могут наблюдаться в характеристиках как отдельных индивидуумов, находящихся в одинаковых условиях, так и у одного индивидуума в разные периоды времени. Ранее было доказано [6], что в любом рабочем коллективе несчастные случаи распределяются между работниками неравномерно: большая доля случаев травматизма приходится на меньшую часть работников. Это позволяет предположить, что индивидуальные качества горнорабочего определяют его подверженность к несчастным случаям или, напротив, его защищенность от них. Поскольку корректировка психофизиологических качеств работника является весьма трудоемкой, целесообразно изначально не привлекать на травмоопасную работу тех лиц, индивидуальные качества которых не определяют их достаточную защищенность от производственных травм. В этом контексте заблаговременное определение склонности кандидатов на должности горнорабочих к травмам позволит повысить эффективность процедуры профессионального отбора [6, 7]. Подобная оценка позволит более детально подходить к управлению человеческим фактором, поскольку она поможет выявить те индивидуальные качества горнорабочего, которые более всего нуждаются в совершенствовании для повышения его защищенности от производственных травм [8, 9].

Развитие риск-ориентированного подхода позволило получить ряд инструментов для оценки риска травматизма с учетом индивидуальных психофизиологических качеств, например методы: CREAM [10], HEART [11], SHERPA [12], FLIM [13], SPAR-H [14], TRACer [15], HFACS [16]. Информационная неопределенность позволяет использовать данные методы исключительно в качественном и полуколичественном виде, что приводит к значительной субъективности результатов анализа и снижению качества прогноза. Алгоритмы количественной оценки риска травматизма с учетом личностных качеств работников, представленные, например, в исследованиях [17-20] и основанные на применении регрессионных моделей, позволяют в рамках скрининга набора наиболее значимых индивидуальных качеств получать объективные результаты прогноза с минимальным числом допущений. Однако области применения всех существующих методов не учитывают специфику условий труда на предприятиях, ведущих подземную разработку месторождений. Это формирует задачу создания метода, который позволит учитывать влияние наиболее значимых психофизиологических качеств личности на склонность к травмам в условиях ведения подземных горных работ.

Методы. В целях создания метода, пригодного для оценки склонности к травмам среди горнорабочих разных специальностей, исследование проводилось в условиях, моделирующих влияние характерных для различных подземных рабочих мест опасных и вредных производственных факторов: эксплуатации травмоопасных механизмов и инструментов; высоких физических и сенсорных нагрузок; продолжительного нахождения в замкнутом пространстве и неудобной рабочей позе; недостаточной освещенности и повышенного уровня шума. Для воспроизведения рабочих ситуаций, в том числе нештатных и экстремальных, использовали учебно-тренировочный центр подготовки младших специалистов подразделений флота, где возможно одновременно моделировать интенсивные уровни воздействия комплекса опасных и вредных производственных факторов.

Для обеспечения статистической достоверности и репрезентативности результатов была сформирована выборка из 250 мужчин в возрасте 18-20 лет, проходящих подготовку на тренажерах учебно-тренировочного центра. Для учета адаптационных способностей человека и исключения влияния адаптации (приспособленности) к моделируемым условиям, а также приобретенного опыта исследуемая группа составлялась исключительно из лиц, ранее не проходивших подготовку на

тренажерах учебно-тренировочного центра. Испытуемые отбирались по критериям успешного прохождения медицинского отбора, отсутствия хронических заболеваний, требуемого уровня физиологического и психологического развития.

Известно, что вероятность человеческой ошибки зависит от индивидуальных психических, психологических и физических качеств человека, которые определяют его способность безопасно выполнять трудовые функции, склонность к риску и производственным травмам:

- психические качества – особенности мышления, памяти, устойчивость и концентрация внимания [21]; время реакции на раздражители [22]; способность адаптации к смене психомоторных, перцептивных, аффективных установок и установок внимания [23];
- психологические качества – тревожность [24, 25]; эмоциональная уравновешенность [26, 27]; уверенность в себе, самоконтроль; ответственность, коммуникабельность, способность к групповому взаимодействию [21];
- физические качества – рост, масса, пропорции тела; физическая сила, выносливость [17, 28]; сенсорные способности, чувствительность анализаторов; скорость мышечной реакции, координация и точность движений [29].

Для учета указанной совокупности индивидуальных качеств авторами был определен набор первичных индивидуальных показателей участников исследования (табл.1). Поскольку основной задачей исследования являлся анализ базовых психофизиологических качеств личности, в процессе наблюдения не рассматривались вторичные по отношению к ним и развивающиеся в процессе труда профессиональные характеристики – уровень квалификации и приобретенный опыт, степень развития мотивации на безопасный труд, наличие устойчивых двигательных стереотипов и др.

Таблица 1

Перечень определяемых индивидуальных показателей работников

Показатель	Обозначение	Методика определения
Частота пульса в покое, удары/мин	X_1	Метод пульсометрии до физической нагрузки
Проба Штанге, с	X_2	Время задержки дыхания на вдохе
Проба Генча, с	X_3	Время задержки дыхания на выдохе
Количество отжиманий	X_4	
Количество наклонов корпуса	X_5	Максимальное число повторений за 30 с
Количество приседаний	X_6	
Количество прыжков с оборотом на месте	X_7	
Частота пульса после нагрузки, удары/мин	X_8	Метод пульсометрии после физической нагрузки
Дыхательный объем легких, л	X_9	Сухой спирометр
Рост, см	X_{10}	В положении стоя
Систолическое артериальное давление, мм рт.ст.	X_{11}	Метод Короткова
Диастолическое артериальное давление, мм рт.ст.	X_{12}	Метод Короткова
Самооценка состояния, балл	X_{13}	Анкета самооценки состояния [30, 31]
Нервно-психическая адаптация, балл	X_{14}	Тест [32]
Ситуационная тревожность, балл	X_{15}	Шкала Спилбергера – Ханина [30, 33]
Личностная тревожность, балл	X_{16}	Шкала Спилбергера – Ханина [30, 33]
Личностный адаптационный потенциал, балл	X_{17}	Методы [34]
Поведенческая регуляция, балл	X_{18}	Методы [34]
Коммуникативный потенциал, балл	X_{19}	Методы [34]
Моральная нормативность, балл	X_{20}	Методы [34]

Одним из критериев при выборе анализируемых показателей явилась возможность осуществления тестирования с использованием стандартных методик без привлечения сложного специализированного оборудования. Перечень выбранных показателей позволил установить:

- уровень физического развития и физической подготовки, функциональные резервы дыхательной системы и конституциональные особенности организма, влияющие на работоспособность человека и его устойчивость к физическим нагрузкам;



- состояние и функциональные резервы сердечно-сосудистой, центральной и вегетативной нервных систем, определяющие физические возможности человека и уровень его нервно-психической устойчивости;
- адаптационные возможности человека, влияющие на его способность к быстрой и успешной адаптации к меняющимся условиям труда.

В течение 5 мес. после первичной оценки индивидуальных психофизиологических качеств участников исследования штатной медицинской службой учебно-тренировочного центра производилась регистрация всех случаев травмирования при выполнении учебно-тренировочных задач и отработке упражнений на тренировочном комплексе, моделирующем условия ограниченного и замкнутого пространства, а также воздействие опасных и вредных производственных факторов. Всего за время наблюдения зарегистрировано 26 случаев травм легкой степени тяжести у 16 чел., что соответствует доле получивших травмы 6,4 % из общей выборки: 2,4 % участников исследования были травмированы один раз, 4 % – два раза. Среднее значение наблюдавшегося индивидуального риска травмирования в исследуемой группе составило 0,250 год⁻¹.

Для выявления статистически значимых связей между исследуемыми индивидуальными качествами и показателями травматизма был произведен дискриминантный анализ переменных с использованием программного обеспечения StatSoft STATISTICA 10. Выбор метода статистического анализа обусловлен его высоким потенциалом к определению независимых переменных, дискриминирующих испытуемых по склонности к травмам; отсутствием требования к нормальному закону распределения величин в выборках; возможностью использования зависимой переменной вnomинальной форме.

Сформированная по итогам наблюдений обучающая выборка была подвергнута дискриминантному анализу для двух групп номинальной переменной (наличие и отсутствие травмы), а в качестве независимых переменных использован массив количественных первичных показателей индивидуальных психофизиологических качеств участников исследования (табл.1). Процедура дискриминантного анализа проводилась методом автоматического пошагового исключения из модели тех переменных, которые внесли незначительный вклад в дискриминацию анализируемых групп номинальной переменной. В качестве критерия исключения статистически незначимой переменной использовано значение F-критерия на уровне значимости $p < 0,05$. В результате выделен набор предикторов, обладающих статистически значимым влиянием на признак наличия/отсутствия травм (табл.2). Для определения формы зависимостей между указанными в табл.2 переменными и количественным показателем травматизма была произведена формализация выявленных связей в ходе однофакторного регрессионного анализа. В качестве зависимой непрерывной переменной использован общепринятый в теории риска показатель среднегодовой частоты травмирования (индивидуального риска). В целях выявления общего тренда при построении функций произведена интервализация предикторных переменных i и определение средних значений для каждого интервала, группирование испытуемых в соответствии с выделенными интервалами переменных i и определение средних значений частоты травмирования в каждой группе. В результате из всех анализируемых параметров были выявлены переменные, которые в наилучшей степени аппроксимируются строго монотонными функциями с уровнем достоверности аппроксимации $R^2 > 0,80$ (рис.1). Это позволило включить в итоговые модели количественной оценки риска травмирования только такие факторы, влияние которых на показатель травматизма может быть обосновано исключительно однозначным образом.

Таблица 2

Перечень психофизиологических показателей, обладающих статистически значимой связью с показателем травматизма

Показатель	Обозначение	F-критерий исключения	Уровень значимости p
Количество отжиманий	X_4	5,11	0,025
Частота пульса в покое, удары/мин	X_1	3,88	0,049
Ситуационная тревожность, балл	X_{15}	4,51	0,034
Проба Штанге, с	X_2	5,08	0,025
Личностный адаптационный потенциал, балл	X_{17}	4,89	0,027

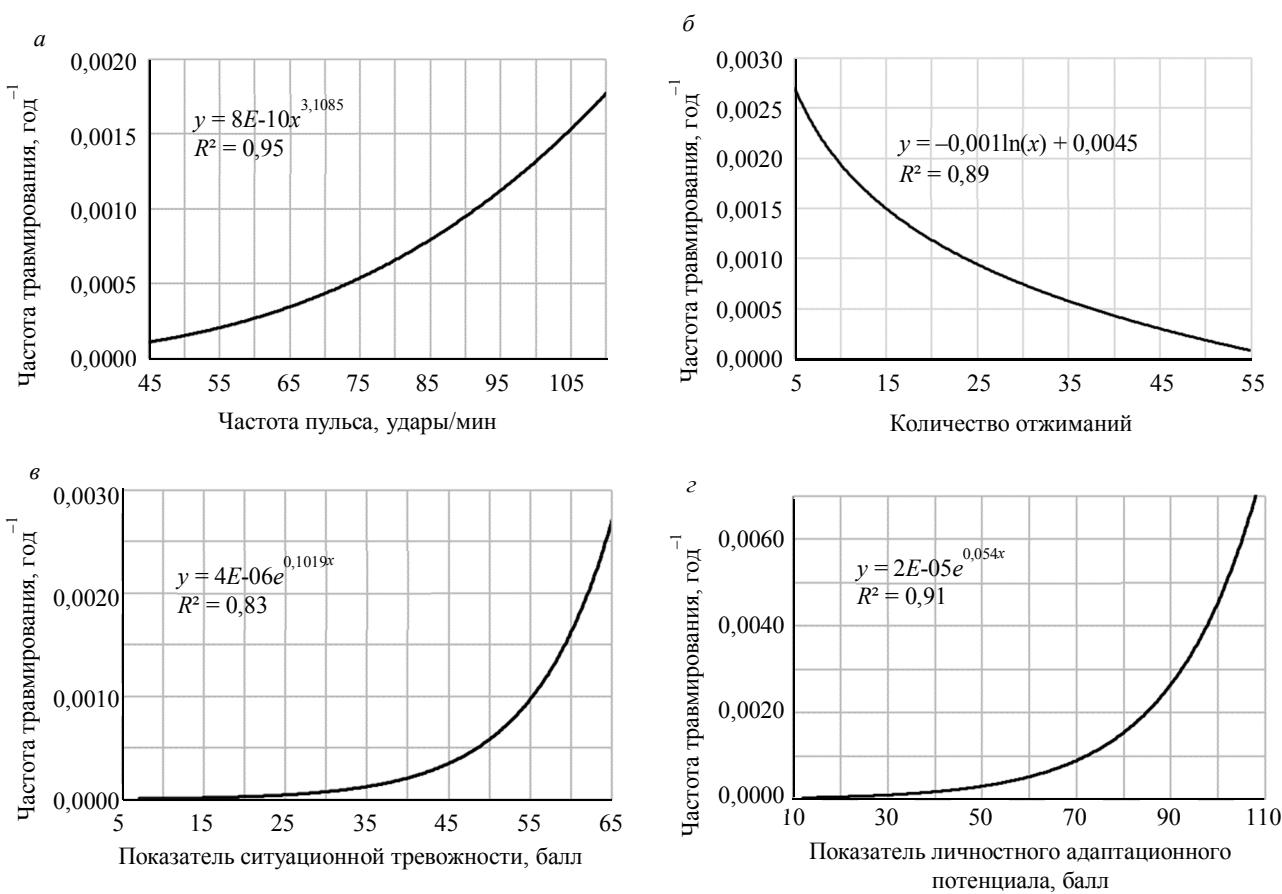


Рис.1. Распределение средней наблюдаемой частоты травмирования в зависимости от частоты пульса в покое (а); количества отжиманий (б); уровня ситуационной тревожности (в); уровня личностного адаптационного потенциала (г)

С целью оценки совокупного влияния исследуемых качеств на показатели травматизма и дальнейшего прогноза склонности к травмам произведен многофакторный регрессионный анализ. В результате были получены расчетные модели, позволяющие вычислять условное математическое ожидание частоты травмирования (персональный риск травмирования R_T , год⁻¹) при совместном учете связей, представленных на рис.1. При ограничении числа переменных в модели, обусловленном объемом исходной выборки, а также наличием различий в условиях труда горнорабочих различных профессий [23] были сформированы две расчетные модели показателя персонального риска. Для рабочих мест с непостоянными условиями труда, меняющимися при штатных режимах работы, оценку склонности горнорабочего к травмам рекомендуется производить с учетом его адаптационных способностей на основе показателя личностного адаптационного потенциала

$$R_{T_1} = 3,2 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3} \ln(X_4) + 5,4 \cdot 10^{-10} X_1^{3,23} + 5,8 \cdot 10^{-5} e^{0,03X_{17}}. \quad (1)$$

Для рабочих мест, условия труда на которых могут измениться лишь в нештатных и экстремальных ситуациях, оценка склонности горнорабочего к травмам может быть определена с учетом его нервно-психической устойчивости на основе показателя ситуационной тревожности

$$R_{T_2} = 3,2 \cdot 10^{-3} - 0,9 \cdot 10^{-3} \ln(X_4) + 5,5 \cdot 10^{-10} X_1^{3,23} + 1,6 \cdot 10^{-6} e^{0,11X_{15}}. \quad (2)$$

Проверка качества полученных в результате многофакторного регрессионного анализа уравнений проведена с использованием ряда стандартных критериев оценки на уровне значимости $p = 0,05$. В соответствии с частным F -тестом и t -статистикой включение выбранных переменных в модели целесообразно, коэффициенты регрессии статистически значимы. Значение F -статистики свидетельствует о статистической надежности регрессионных моделей.



Обсуждение результатов. В горнодобывающей отрасли в полной мере не учитывается соответствие психофизиологических возможностей горнорабочих существующим на предприятиях условиям труда, в результате чего персонал является неадаптированным к оперативному реагированию на опасные ситуации [35]. Особенно актуально применять методы оценки профессиональных рисков для подтверждения пригодности человека к осуществлению трудовой деятельности в специфических условиях горнодобывающих производств, так как комплекс индивидуальных качеств личности может свидетельствовать о повышенной склонности к травматизму и непригодности к конкретному виду деятельности [29, 36].

Установленная совокупность индивидуальных качеств может быть использована для выявления склонности человека к травматизму в специфических для подземных работ условиях. Показано, что травмированные участники исследования изначально имели более низкий уровень здоровья, выразившийся в пониженных показателях нервно-психической устойчивости, регуляции физиологических функций и функциональных резервов организма. Сопоставление результатов психологического обследования показало, что не получившие травмы лица отличались более высокой эффективностью поведенческой регуляции в новых и достаточно тяжелых условиях испытания, более развитой способностью к адаптации, лучшим состоянием сердечнососудистой и вегетативной систем, а также лучшей физической подготовкой.

Увеличение частоты сердечных сокращений в покое (рис.1, а) приводит к монотонному росту наблюдаемой частоты травматизма, что вполне логично объясняется преобладанием симпатотонии у лиц, которым свойственна повышенная частота пульса. Это предопределяет их склонность к излишней эмоциональности и стрессу, и как следствие – к быстрой утомляемости, ухудшению внимания и снижению мотивации, что пагубно влияет на их защищенность от производственных травм. Частота сердечных сокращений также может рассматриваться как показатель физического здоровья, характеризующий резистентность организма физическому утомлению и снижению работоспособности.

Существенно, что травмированные лица имели достоверно более низкий уровень физической подготовки. Продемонстрирована обратная зависимость между количеством отжиманий и наблюдаемой частотой травматизма, обусловленная ростом персонального риска травмирования при снижении физических способностей человека в условиях высокоинтенсивного физического труда (рис.1, б). Напротив, физически развитые участники исследования проявили меньшую склонность к травмам, что может быть обусловлено их высокой физической силой и выносливостью, развитыми моторными способностями и мышечной координацией, более высокой устойчивостью организма к ряду опасных внешних воздействий.

На рис.1, в представлено влияние ситуационной тревожности, свидетельствующее о преобладающей склонности травмированных лиц испытывать тревожные эмоциональные состояния нервно-психического напряжения при реагировании на нештатные и экстремальные рабочие ситуации. Зависимость, показанная на рис.1, г, характеризует различия у групп травмированных и нетравмированных участников исследования в уровне развития личностного адаптационного потенциала. Интегральный показатель личностного адаптационного потенциала X_{17} обладает прямой зависимостью от показателей поведенческой регуляции X_{18} , коммуникативного потенциала X_{19} и моральной нормативности X_{20} . Их высокие значения свидетельствуют о склонности человека к нервно-психическим срывам и неадекватной самооценке, нарушениям коммуникативных способностей и адекватного восприятия действительности. Таким лицам свойственен низкий уровень социализации, они не могут оценить свое место и роль в коллективе, испытывают трудности в выполнении общегрупповых задач. Это позволяет предположить, что выявленные у травмированных участников исследования признаки акцентуализации характера свидетельствуют о наличии у них трудностей при адаптации к новым условиям труда.

Анализ представленных на рис.1 зависимостей обладает практическим интересом с точки зрения определения групп риска по склонности горнорабочих к травмам. Области значительного увеличения скорости приращения функций относительно изменения наблюдаемой частоты травматизма позволяют относить к группам риска горнорабочих с частотой пульса в покое более 80 ударов/мин, с количеством отжиманий за 30 с менее 15, с уровнями показателя ситуационной тревожности более 50 баллов и личностного адаптационного потенциала более 80 баллов.



Рис.2. Алгоритм отнесения работников к группам риска по склонности к травмам

Одновременный учет указанных факторов возможен при использовании моделей (1) или (2). Однако стоит принимать во внимание область применения данных моделей. Рассчитанные коэффициенты детерминации для модели (1) $R_1^2 = 0,12$ и модели (2) $R_2^2 = 0,10$ свидетельствуют, что включенные в них факторы определяют 12 и 10 % вариации наблюданной частоты травмирования соответственно. Это объясняется широким перечнем возможных причин травматизма, прогнозирование которого не может быть однозначно осуществлено лишь на основе отдельных индивидуальных качеств работника. Поэтому модели (1) и (2) не могут быть использованы для точного количественного прогноза вероятности травмирования горнорабочих (для этих целей необходимо создание сложных вероятностно-статистических моделей комплексной и многофакторной оценки риска). Учитывая все многообразие возможных причин производственных травм, объясняемые моделями доли вариации 12 и 10 % представляются весьма существенными. В результате исследования на статистически значимом уровне удалось выявить ряд индивидуальных характеристик человека, в значительной степени предопределяющих его склонность к травмам при работе в условиях подземного горного производства. Область применения моделей (1) и (2) ограничивается целями априорного определения склонности горнорабочих к производственным травмам с учетом их индивидуальных психофизиологических качеств на основе количественного показателя ожидаемого риска травмирования. Указанная область применения в полной мере соответствует задачам определения групп риска по склонности к травмам при проведении профессионального отбора и управлении человеческим фактором на горных предприятиях.

В целях практического применения полученных моделей (1) и (2) авторами предлагается метод отнесения горнорабочих или кандидатов на их должности к группам риска по склонности к травмам (рис.2). На первом этапе определяется специфика условий труда на рабочем месте горнорабочего при штатном режиме работы. В зависимости от этого строится дальнейший алгоритм оценки:

- если условия труда на рабочем месте при штатном режиме работы являются непостоянными, то на последующем этапе тестирования определяются параметры частоты пульса в покое X_1 , количества отжиманий X_4 , показателя личностного адаптационного потенциала X_{17} (см. табл.1). К данной группе следует относить рабочие места, характеризуемые систематическим изменением технологического процесса, параметров окружающей производственной среды, частым изменением состава трудового коллектива, рабочие места членов вспомогательных горноспасательных команд и т.д.; затем выполняется расчет показателя персонального риска травмирования с использованием модели (1);

- если условия труда на рабочем месте при штатном режиме работы являются преимущественно постоянными и существует вероятность их изменения лишь в нештатных или экстремальных (аварийных) ситуациях, то на последующем этапе тестирования определяются параметры частоты пульса в покое X_1 , количества отжиманий X_4 , показателя ситуационной тревожности X_{15} (табл.1). К данной группе следует относить рабочие места, характеризуемые относительным постоянством условий труда и потенциальной возможностью возникновения инцидентов, аварий,



нарушений технологического процесса и т.д.; затем выполняется расчет показателя персонального риска травмирования с использованием модели (2).

Для отнесения горнорабочего или кандидата на его должность к той или иной группе риска по склонности к травмам на заключительном этапе алгоритма производится оценка количественного показателя ожидаемого риска травмирования с использованием пороговых значений риска, предложенных в табл.3. Поскольку в настоящее время величина допустимого риска травмирования для горнодобывающих предприятий законодательно не установлена, возможно использовать в качестве его значения расчетный показатель индивидуального профессионального риска гибели, который определен для угледобывающей отрасли на уровне $2 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ [37].

Таблица 3

Группы риска по склонности горнорабочих к травмам

Группы риска	Пороговые значения риска, год ⁻¹	Описание
Низкий уровень (допустимый риск)	$R_{T_1}, R_{T_2} < 1 \cdot 10^{-3}$	Горнорабочий/кандидат обладает минимальной склонностью к производственным травмам, возможность травмирования определяется условно безопасным влиянием его индивидуальных качеств
Средний уровень (допустимый риск)	$1 \cdot 10^{-3} \leq R_{T_1}, R_{T_2} < 2 \cdot 10^{-3}$	Горнорабочий/кандидат обладает повышенной склонностью к производственным травмам, возможность травмирования определяется угрожающим влиянием его индивидуальных качеств
Высокий уровень (недопустимый риск)	$R_{T_1}, R_{T_2} \geq 2 \cdot 10^{-3}$	Горнорабочий/кандидат обладает высокой склонностью к производственным травмам, возможность травмирования определяется опасным влиянием его индивидуальных качеств

С учетом сопоставления ущерба здоровью предельно допустимый уровень риска травмирования без смертельного исхода может быть определен в десятикратном размере указанной величины на уровне $R_{T_{\text{доп}}} = 2 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹. При этом диапазон допустимого риска предлагается разделить на две равные области, разделенные границей $R_{T_{\text{упр}}} = 0,5R_{T_{\text{доп}}} = 1 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹: верхнюю зону угрожающего влияния индивидуальных качеств горнорабочего/кандидата на склонность к травмам и нижнюю зону условно безопасного влияния. В целях апробации предложенного метода на основе первичных данных участников исследования, ранее не включенных в обучающую выборку, был произведен расчет ожидаемой частоты травматизма, а также выявлены группы риска по склонности к травмам. Учитывая смешанный характер моделируемых условий труда, апробация проводилась как по модели (1), так и модели (2). Сравнение результатов с наблюдаемыми показателями травматизма показало:

- модель (1): среди группы травмированных участников исследования 56 % попали в категорию высокого, 25 % – среднего, 19 % – низкого уровней риска; общее распределение участников исследования по категориям высокого – 17,2 %, среднего – 52 %, низкого уровней риска – 30,8 %;
- модель (2): среди группы травмированных участников исследования 50 % попали в категорию высокого, 38 % – среднего, 12 % – низкого уровней риска; общее распределение участников исследования по категориям высокого – 19,6 %, среднего – 48 %, низкого уровней риска – 32,4 %.

Чувствительность моделей (1) и (2) к выявлению персонала с высоким персональным риском травмирования оценивается на уровне 69 и 68 % соответственно. Распределение по группам риска в выборке травмированных участников исследования и общей выборке показывает, что при использовании моделей (1) и (2) априорная вероятность отнесения фактически травмированного лица к группе высокого уровня риска в 3,3 и 2,5 раза выше, чем у нетравмированного. Обратная ситуация наблюдается при отнесении травмированных лиц к категориям допустимого риска: при использовании моделей (1) и (2) априорная вероятность отнесения к категории среднего уровня риска в 2,1 и 1,3 раза ниже, чем у нетравмированных участников исследования; к категории низкого уровня риска – ниже в 1,6 и 2,7 раза. Это свидетельствует о достаточной чувствительности метода к выявлению лиц, склонных к производственным травмам, и подтверждает пригодность его применения в целях профессионального отбора и управления человеческим фактором.



В отношении лиц, отнесенных к группам склонности к травмам высокого и среднего уровней риска, требуется первоочередное принятие мер по управлению человеческим фактором. Допуск к травмоопасным работам горнорабочих, относящихся к этим группам, должен осуществляться при условии прохождения ими программы профессиональной подготовки с углубленным изучением безопасных приемов ведения работ. Следует уделять повышенное внимание вопросам адаптации таких горнорабочих к новым условиям труда, снижения их тревожности и повышения эмоциональной устойчивости [38, 39]. В этом направлении эффективно применение программ специального обучения с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности [40]. В частности, значительным потенциалом обладают виртуальные тренажеры, позволяющие моделировать и отрабатывать различные опасные производственные ситуации, что снижает вероятность неадекватного и опасного поведения горнорабочих в экстремальных условиях.

Несомненно, психофизиологические качества рабочего персонала горнодобывающих предприятий должны соответствовать специфике условий труда. Справедливо и обратное – обеспечение допустимых условий труда горнорабочих, учитывающих индивидуальные особенности человека, снижает уровень стресса, благоприятно влияет на мотивацию и позволяет минимизировать риск производственного травматизма [41, 42].

Заключение. Защищенность горнорабочего от производственных несчастных случаев во многом зависит от его индивидуальных качеств и не может быть в полной мере обеспечена исключительно организационно-техническими мероприятиями. Поэтому важно на системной основе осуществлять адекватный профессиональный отбор и обучение персонала, что требует наличия методических подходов к выявлению работников, склонных к производственным травмам.

Применение предложенного авторами метода позволяет заблаговременно выявлять склонных к производственным травмам горнорабочих, что предоставляет важную информацию для процедуры управления человеческим фактором на горнодобывающих предприятиях. Учет ключевых психофизиологических качеств горнорабочих демонстрирует новый взгляд на проблему травматизма и позволяет вырабатывать важные идеи для защиты рабочего персонала от несчастных случаев. Реализация мероприятий по предотвращению ошибок человека в рамках борьбы с травматизмом должна иметь комплексный характер и быть направлена не только на управление самим человеческим фактором, но и поддержание удовлетворительного состояния производственной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhaobo Chen, Gangzhu Qiao, Jianchao Zeng. Study on the Relationship between Worker States and Unsafe Behaviours in Coal Mine Accidents Based on a Bayesian Networks Model // Sustainability. 2019. Vol. 11. № 5021. DOI: [10.3390/su11185021](https://doi.org/10.3390/su11185021)
2. Хоменко А.О., Чекмарева М.А., Заболотских Т.В. и др. Специфика психологических и социально-психологических рискориентированных подходов к управлению охраной труда // Экономика труда. 2019. Т. 6. № 2. С. 901-912. DOI: [10.18334/et.6.2.40693](https://doi.org/10.18334/et.6.2.40693)
3. Litvinenko V.S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector // Natural Resources Research. 2020. Vol. 29. № 3. Р. 1521-1541. DOI: [10.1007/s11053-019-09568-4](https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4)
4. Глебова Е.В., Волохина А.Т., Вихров А.Е. Оценка эффективности управления культурой производственной безопасности в компаниях ТЭК // Записки Горного института. 2023. Т. 259. С. 68-78. DOI: [10.31897/PMI.2023.12](https://doi.org/10.31897/PMI.2023.12)
5. Юрак В.В., Душин А.В., Мочалова Л.А. Против устойчивого развития: сценарии будущего // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 242-247. DOI: [10.31897/PMI.2020.2.242](https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.242)
6. Palyanitsina A.N., Akhmedova A.N. Implementing the case study method in a process of teaching oil engineers // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. № 022049. DOI: [10.1088/1742-6596/1515/2/022049](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022049)
7. Цхадая Н.Д., Захаров Д.Ю. Совершенствование процедуры профессионального отбора персонала для работ с повышенной опасностью // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 204-208. DOI: [10.25515/PMI.2018.2.204](https://doi.org/10.25515/PMI.2018.2.204)
8. Рейтынбарг Д.И. Некоторые психологические проблемы теории борьбы с травматизмом // История российской психологии в лицах: Дайджест. 2018. № 2. С. 103-149.
9. Пахолкова Н.В., Вахнина Е.Г., Зайцев А.В. Актуальность развития личности студентов в современных условиях // Теория и практика физической культуры. 2020. № 4. С. 40-41.
10. Wenyu Wang, Zhengqing Dai, Jiahao Rao, Meng Tian. Human Operating Risk Assessment for Outdoor Terminal Box of Electric Power // Wireless Personal Communications. 2022. Vol. 126. Iss. 3. P. 2303-2319. DOI: [10.1007/s11277-021-09067-x](https://doi.org/10.1007/s11277-021-09067-x)
11. Williams J.C. HEART – a proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology // Safety and Reliability. 2015. Vol. 35. Iss. 3. P. 5-25. DOI: [10.1080/09617353.2015.11691046](https://doi.org/10.1080/09617353.2015.11691046)
12. Torres Y., Nadeau S., Landau K. Classification and Quantification of Human Error in Manufacturing: A Case Study in Complex Manual Assembly // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 2. № 749. DOI: [10.3390/app11020749](https://doi.org/10.3390/app11020749)



13. *Hu-Chen Liu, Jing-Hui Wang, Ling Zhang, Qi-Zhen Zhang.* New success likelihood index model for large group human reliability analysis considering noncooperative behaviors and social network // Reliability Engineering and System Safety. 2022. Vol. 228. № 108817. DOI: [10.1016/j.ress.2022.108817](https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108817)
14. *Wenjun Zhang, Xiangkun Meng, Xue Yang et al.* A Practical Risk-Based Model for Early Warning of Seafarer Errors Using Integrated Bayesian Network and SPAR-H // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Iss. 16. № 10271. DOI: [10.3390/ijerph191610271](https://doi.org/10.3390/ijerph191610271)
15. *Dehghani T., Mahdavi S., Fardosrad N. et al.* Evaluating Human Errors using HEART and TRACER Methods: Case Study at a Petrochemical Plant // International Journal of Occupational Hygiene. 2019. Vol. 11. № 4. P. 247-258.
16. *Li Yang, Xue Wang, Junqi Zhu et al.* Comprehensive Evaluation of Deep Coal Miners' Unsafe Behavior Based on HFACS-CM-SEM-SD // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Iss. 17. № 10762. DOI: [10.3390/ijerph191710762](https://doi.org/10.3390/ijerph191710762)
17. *Park S.J., Jung M., Sung J.H.* Influence of Physical and Musculoskeletal Factors on Occupational Injuries and Accidents in Korean Workers Based on Gender and Company Size // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16. № 345. DOI: [10.3390/ijerph16030345](https://doi.org/10.3390/ijerph16030345)
18. *López-García J.R., García-Herrero S., Gutierrez J.M., Mariscal M.A.* Psychosocial and Ergonomic Conditions at Work: Influence on the Probability of a Workplace Accident // BioMed Research International. 2019. Vol. 2019. № 2519020. P. 1-13. DOI: [10.1155/2019/2519020](https://doi.org/10.1155/2019/2519020)
19. *Фролова Е.А.* Прогнозирование факторов, влияющих на производственный травматизм // Южно-Сибирский научный вестник. 2020. № 2 (30). С. 52-56. DOI: [10.25699/SSSB.2020.30.62670](https://doi.org/10.25699/SSSB.2020.30.62670)
20. *Иванова М.В., Глебова Е.В., Ретинская И.В.* Оценка профессиональной пригодности специалистов ООО «Газпром трансгаз Самара» с использованием метода регрессионного анализа // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018. № 5. С. 20-22. DOI: [10.30713/2411-7013-2018-5-20-22](https://doi.org/10.30713/2411-7013-2018-5-20-22)
21. *Мамаев В.В., Розанова Е.Н., Дикенштейн И.Ф.* Роль человеческого фактора в уровне травматизма пожарных // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2017. № 4 (54). С. 82-91.
22. *Шангареев Р.Р.* Мотивация работников – основной механизм системы управления профессиональными рисками на производстве // Нефтегазовое дело. 2018. № 3. С. 180-198.
23. *Gendler S.G., Tumanov M.V., Levin L.Yu.* Principles for selecting, training and maintaining skills for safe work of personnel for mining industry enterprises // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. № 2. P. 156-162. DOI: [10.33271/nvngu/2021-2/156](https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/156)
24. *Скотинцева О.В., Баловцев С.В.* Управление аэробологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 1. С. 78-89. DOI: [10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89)
25. *Шабанов Н.И., Липкович И.Э., Петренко Н.В. и др.* Эргономика и психофизиологические основы безопасности труда в агронженерной сфере: монография. Зерноград: АЧИИ ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде, 2018. 265 с.
26. *Зиновьева О.М., Меркулова А.М., Смирнова Н.А., Щербакова Е.А.* К вопросу управления психосоциальными рисками в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 1. С. 20-33. DOI: [10.25018/0236_1493_2022_1_0_20](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_1_0_20)
27. *Эльмураев М.А., Панченко И.А., Пахолкова Н.В.* Социально-психологическая модель здоровья и физической рекреации // Теория и практика физической культуры. 2019. № 6. С. 44-46.
28. *Дубровская Ю.А., Пихконен Л.В., Дубровская В.А.* Формирование профессиональных компетенций горных инженеров на практико-ориентированных занятиях по физической культуре и спорту // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 2. С. 127-138. DOI: [10.25018/0236-1493-2021-2-0-127-138](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-2-0-127-138)
29. *Kang D.* Workability and Life Satisfaction: Effects of Workers' Positive Perceptions on Their Return to Jobs // Safety and Health at Work. 2022. Vol. 13. Iss. 3. P. 286-293. DOI: [10.1016/j.shaw.2022.05.002](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2022.05.002)
30. *Иванов Е.А., Калик В.В.* О необходимости изучения физических качеств и личностных характеристик операторов беспилотных летательных аппаратов // Ученые записки университета им. П.Ф.Лесгафта. 2023. № 1 (215). С. 193-196. DOI: [10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p193-1](https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p193-1)
31. *Новиков В.С., Боченков А.А., Чермянин С.В.* Психофизиологическое обоснование проблемы коррекции и реабилитации участвовавших в боевых действиях военнослужащих // Военно-медицинский журнал. 1997. Т. 318. № 3. С. 53-57.
32. *Белов В.В., Корзунин А.В., Юсупов В.В., Костин Д.В.* Методы оценки нервно-психической устойчивости военнослужащих // Вестник ЛГУ им. А.С.Пушкина. 2014. № 3. С. 75-88.
33. *Чутко Л.С., Рожкова А.В., Сурушкина С.Ю. и др.* Клинические проявления синдрома эмоционального выгорания // Журнал неврологии и психиатрии имени С.С.Корсакова. 2019. Т. 119. № 1. С. 14-16. DOI: [10.17116/jneuro201911901114](https://doi.org/10.17116/jneuro201911901114)
34. *Маклаков А.Г.* Основы психологического обеспечения профессионального здоровья военнослужащих: Автореф. дис. ... д-ра психол. наук. СПб: ВМА им. С.М.Кирова, 1996. 37 с.
35. *Koteleva N., Kuznetsov V., Vasilyeva N.* A Simulator for Educating the Digital Technologies Skills in Industry. Part One. Dynamic Simulation of Technological Processes // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 22. № 10885. DOI: [10.3390/app112210885](https://doi.org/10.3390/app112210885)
36. *Николаев А.Б.* Прогнозирование проявления человеческого фактора и коррекция вероятности его негативного влияния // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 9. С. 52-57. DOI: [10.24000/0409-2961-2017-9-52-57](https://doi.org/10.24000/0409-2961-2017-9-52-57)
37. *Кабанов Е.И.* Определение допустимого профессионального риска травмирования работников угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 5. С. 167-180. DOI: [10.25018/0236_1493_2022_5_0_167](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_5_0_167)
38. *Lvov V.V., Smirnova Z.V., Artemova E.I. et al.* State of University-Employer Interaction Models in Russia // Journal of Entrepreneurship Education. 2019. Vol. 22. Iss. 4. P. 1-9.
39. *Крецманн Ю., Плиен М., Тхи Хоаи Нга Нгуен, Рудаков М.Л.* Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 248-256. DOI: [10.31897/PMI.2020.2.248](https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.248)



40. Gubin V.V., Fedorova E.R., Darin A.A. Methods of training simulators development in aspect of increasing efficiency and safety production // International Journal of Management. 2019. Vol. 10. Iss. 2. P. 117-121. DOI: [10.34218/IJM.10.2.2019.010](https://doi.org/10.34218/IJM.10.2.2019.010)
41. Barkhordari A., Malmir B., Malakoutikhah M. An Analysis of Individual and Social Factors Affecting Occupational Accidents // Safety and Health at Work. 2019. Vol. 10. Iss. 2. P. 205-212. DOI: [10.1016/j.shaw.2019.01.002](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.01.002)
42. Gendler S., Prokhorova E. Risk-Based Methodology for Determining Priority Directions for Improving Occupational Safety in the Mining Industry of the Arctic Zone // Resources. 2021. Vol. 10. Iss. 3. № 20. DOI: [10.3390/resources10030020](https://doi.org/10.3390/resources10030020)

Авторы: Е.И.Кабанов, канд. техн. наук, доцент, kabanov_ei@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7580-9099> (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия), М.В.Туманов, канд. мед. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3795-1005> (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия), В.С.Сметанин, директор по развитию, <https://orcid.org/0000-0003-2390-3045> (АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия), К.В.Романов, канд. мед. наук, начальник отдела, <https://orcid.org/0000-0002-7315-0056> (Военный институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.