

УДК 622.86:622.272

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА ТРАВМАТИЗМА И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ



С. Г. ГЕНДЛЕР,
зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук



Е. А. ПРОХОРОВА,
ассистент, канд. техн. наук,
Prokhorova_EA2@pers.spmi.ru

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

Введение

Горнодобывающие компании при добыче и переработке полезных ископаемых повсеместно сталкиваются с различными видами производственных рисков, приводящих к травмам и профзаболеваниям рабочих. Обеспечение безопасности труда в горнодобывающих компаниях, позволяющее повысить эффективность производственной деятельности и снизить себестоимость продукции, является одной из приоритетных задач для большинства стран, осуществляющих добычу полезных ископаемых [1–3]. Решение данной проблемы невозможно без разработки стратегии и методов управления системой охраны труда и промышленной безопасности, обеспечивающих возможность при минимальных финансовых затратах снизить риски травматизма и профессиональной заболеваемости рабочих.

Выполненный сравнительный анализ показал, что наиболее высокие риски производственного травматизма и профзаболеваемости характерны для угледобывающих предприятий. Это объясняется следующими причинами:

- более высоким удельным весом тяжелой физической работы, связанной с ручным трудом, приводящим к увеличению вероятности возникновения производственных травм;
- сочетанным влиянием таких вредных производственных факторов, как шум и вибрации, запыленность рудничного

Представлены результаты расчетов интегрального риска травматизма и профзаболеваемости на примере АО «СУЭК-Кузбасс». Доказано, что ранжирование угольных шахт по динамике интегрального риска позволяет определять приоритетные направления обеспечения безопасности труда компании. Обоснована тесная связь между производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью, которая зависит от их этиологии.

Ключевые слова: угольная промышленность, производственный травматизм, профессиональная заболеваемость, фоновые риски угледобывающих регионов, промышленный экзоскелет, риск-ориентированный подход, охрана труда

DOI: 10.17580/gzh.2023.09.06

воздуха и высокое содержание в нем газов естественного и искусственного происхождения, что обуславливает рост профессиональной заболеваемости;

- неблагоприятными климатическими и экологическими условиями в регионах, где расположены угольные месторождения, создающие вредные условия для здоровья персонала, работающего в угольной отрасли.

Перечисленные причины следует принимать во внимание при разработке стратегии управления охраной труда и минимизации рисков негативного воздействия на горнорабочих вредных и опасных производственных факторов [4–6].

Изучению методов управления охраной труда в горнодобывающей промышленности, а также снижения рисков производственного травматизма и профзаболеваемости посвящены исследования многих отечественных и зарубежных ученых: О. В. Воробьевой, В. А. Галкина, Е. Б. Гридиной, Н. О. Калединой, Е. И. Кабанова, И. Л. Кравчука, Е. М. Невотиной, М. Л. Рудакова, А. В. Смолина, Г. З. Файнбурга, А. И. Фомина и других. В этих исследованиях затронуты актуальные проблемы безопасности и охраны труда в горнодобывающей отрасли, разработаны методики оценки рисков и предложены пути повышения эффективности систем управления охраной труда [7–11]. Однако в перечисленных работах недостаточно внимания уделено комплексной оценке охраны труда в угледобывающих компаниях, с последующим выявлением приоритетных направлений повышения безопасности труда общего уровня в компании за счет снижения травматизма и профзаболеваемости на отдельных шахтах.

Целью данной статьи является разработка методики определения комплексного показателя, характеризующего сочетание действие рисков травматизма и профзаболеваемости, включающих их фоновые значения, и экономические ущербы, с последующим определением приоритетных направлений повышения безопасности труда.

Так как наиболее перспективным угледобывающим регионом России в настоящее время является Кузбасс (Кемеровская область), где добывают около 60 % всего угля, то в первую очередь предлагаемая методология ориентирована на угольные шахты данного региона, и, в частности, на предприятия АО «СУЭК-Кузбасс». Несмотря на то, что шахты АО «СУЭК-Кузбасс» используют современные технологии добычи угля и осуществляют постоянный контроль за условиями труда, уровень производственного травматизма и профессиональной заболеваемости рабочих остается здесь недопустимо высоким [12, 13]. В связи с этим разработка и последующее апробирование предлагаемого методического подхода на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» даст возможность не только выявить наиболее проблемные относительно производственного травматизма и профзаболеваемости предприятия, но и определить приоритетные направления совершенствования системы охраны труда и промышленной безопасности.

Материалы и методы исследований

Производственный травматизм и профессиональная заболеваемость рабочих в угольной промышленности являются последствиями воздействия на рабочий персонал опасных и вредных факторов, сопутствующих добыче угля. Причины, инициирующие эти факторы, различны по своему происхождению, степени влияния и конечному результату. Их совокупное влияние на травматизм и профзаболеваемость имеет стохастическую природу, которая затрудняет осуществление индивидуальной оценки воздействия каждого из этих факторов. В связи с этим в работе использована модель «черного ящика», основанная на учете входных и выходных данных. Первые характеризуют такие показатели конкретной шахты, как численность производственного персонала, размер инвестиций в охрану труда, продолжительность периода добычных работ. Вторые – число травмированных и заболевших рабочих в течение этого периода, величина экономического ущерба. Следует отметить еще одну особенность негативного влияния на безопасность труда опасных и вредных факторов. Так, профессиональные заболевания могут развиваться на протяжении длительного периода времени и часто связаны с условиями труда, которые действовали в прошлом [14]. Производственный травматизм зависит от того, какие условия труда существуют в настоящее время, как организован трудовой процесс, и какой характер работы отмечается для определенной профессии [15, 16]. Нельзя забывать и о фоновом уровне травматизма и заболеваемости, который связан с климатическими и экологическими условиями района, где проживают люди, работающие на предприятии [17–19].

Модель «черного ящика» априорно определяет выбор показателя и метода изучения стохастических процессов, следствием которых являются травматизм и профзаболевание. В частности, для сопоставительного анализа травматизма и профзаболеваний на шахтах, входящих в состав компании, следует использовать показатель интегрального риска, для вычисления которого наиболее рационален метод корреляционно-регрессионного анализа, позволяющий установить взаимосвязь общих рисков травматизма и профзаболеваемости с показателями, характеризующими особенности работы каждого предприятия [20, 21].

Для вычисления интегрального риска травматизма и профзаболеваемости предлагается использовать сумму математических ожиданий рисков производственного травматизма $R_{\text{тр}} Y_{\text{тр}}$ и профессиональной заболеваемости $R_{\text{п.з}} Y_{\text{п.з}}$, где $Y_{\text{тр}}$ и $Y_{\text{п.з}}$ – экономические ущербы от травматизма и профессиональной заболеваемости соответственно:

$$M_{\text{н.в}} = R_{\text{тр}} Y_{\text{тр}} + R_{\text{п.з}} Y_{\text{п.з}}, \quad (1)$$

где н.в. – негативное воздействие.

В основе расчета фонового риска травматизма и профзаболеваемости лежит допущение, что риски производственного травматизма и профзаболеваемости являются результатом сочетанного действия двух видов риска: общего риска, определяемого средним уровнем риска в регионах России с благоприятными климатическими и экологическими условиями ($R_{\Sigma 0, \text{П.тр}}$, $R_{\Sigma 0, \text{П.з}}$), и риска конкретного региона, в котором эти условия следует принимать во внимание ($R_{\Sigma \text{П.тр}}$, $R_{\Sigma \text{П.з}}$). Уравнение, связывающее эти риски, получено на основе формулы для вычисления вероятности совместных событий:

$$R_{\Sigma \text{П.тр}} = R_{\Sigma 0, \text{П.тр}} + R_{\text{ф.тр}} - R_{\Sigma 0, \text{П.тр}} R_{\text{ф.тр}}; \quad (2)$$

$$R_{\Sigma \text{П.з}} = R_{\Sigma 0, \text{П.з}} + R_{\text{ф.п.з}} - R_{\Sigma 0, \text{П.з}} R_{\text{ф.п.з}}. \quad (3)$$

Из формул (2)–(3) несложно выразить величину фонового риска:

$$R_{\text{ф.тр}} = (R_{\Sigma \text{П.тр}} - R_{\Sigma 0, \text{П.тр}}) / (1 - R_{\Sigma 0, \text{П.тр}}); \quad (4)$$

$$R_{\text{ф.п.з}} = (R_{\Sigma \text{П.з}} - R_{\Sigma 0, \text{П.з}}) / (1 - R_{\Sigma 0, \text{П.з}}). \quad (5)$$

Зависимость для определения интегрального риска травматизма и профзаболеваемости получена в результате объединения формул (1), (4), (5):

$$M_{\text{н.в}} = [R_{\text{тр}} + (R_{\Sigma \text{П.тр}} - R_{\Sigma 0, \text{П.тр}}) / (1 - R_{\Sigma 0, \text{П.тр}})] Y_{\text{тр}} + [R_{\text{п.з}} + (R_{\Sigma \text{П.з}} - R_{\Sigma 0, \text{П.з}}) / (1 - R_{\Sigma 0, \text{П.з}})] Y_{\text{п.з}}. \quad (6)$$

Риски производственного травматизма и профзаболеваемости в АО «СУЭК-Кузбасс» рассчитывали как отношение числа несчастных случаев и заболеваний к среднесписочной численности рабочих. При вычислении рисков использованы данные статистической отчетности компании о числе несчастных случаев, степени их тяжести, числе профзаболеваний различной этиологии. При расчете фоновых рисков для Кемеровской области приняты во внимание данные Федеральной службы государственной статистики России [22].

Выбор приоритетных направлений повышения безопасности труда в АО «СУЭК-Кузбасс», включающем 7 шахт, предполагает определение объекта, характеризующегося

худшими показателями травматизма и профзаболеваемости. Поскольку для каждой шахты влияние на травматизм и профзаболеваемость горнотехнических и управленческих факторов существенно различно, что затрудняет использование традиционных методических подходов, то для их ранжирования по показателям травматизма и профзаболеваемости предлагается использовать отношение динамики интегральных рисков травматизма и профзаболеваемости каждой шахты и компании в целом [23–26]. Параметры, характеризующие динамику интегрального риска шахт и компании, устанавливаются на основе представления результатов вычисления $M_{н.в}$ по формуле (1) в виде корреляционных зависимостей интегрального риска травматизма и профзаболеваемости за рассматриваемый период работы предприятий T (лет). Вид корреляционных зависимостей (линейный, экспоненциальный или степенной) выбирают по максимальному значению коэффициентов детерминации или корреляционного отношения (для функций, отличных от линейной функции) и не противоречащему характеру их изменения в пределах и за пределами рассматриваемого периода (значение интегрального риска не должно принимать нулевого значения). Как показали результаты предварительных оценок, этим условиям в наибольшей степени удовлетворяет экспоненциальная зависимость вида

$$M_{н.в} = a \exp(-bT), \quad (7)$$

где a и b – стандартные коэффициенты экспоненциальной зависимости; при этом b характеризует динамику риска.

Ранжирование шахт по величине интегрального риска осуществляют на основе расчета соотношения коэффициентов b , вычисленных для каждой шахты «СУЭК-Кузбасс» и АО «СУЭК-Кузбасс» в целом:

$$K = (b_{ком} - b_{ш.і})/b_{ш.і}, \quad (8)$$

где $b_{ком}$ – коэффициент динамики интегрального риска для АО «СУЭК-Кузбасс»; $b_{ш.і}$ – коэффициент, характеризующий динамику интегрального риска для каждой шахты АО «СУЭК-Кузбасс».

По величине рассчитанного показателя K возможно сделать заключение об относительной динамике интегрального риска травматизма и профзаболеваемости. Если значение показателя K меньше единицы, то это свидетельствует о высоком темпе снижения интегрального риска травматизма и профзаболеваемости. И наоборот, при величине показателя K больше единицы шахту следует относить к проблемной в плане обеспечения безопасности труда, а реализация применительно к ней компенсационных мероприятий должна рассматриваться в качестве приоритетной по сравнению с другими предприятиями компании.

Обсуждение результатов

Результаты вычислений интегрального риска травматизма и профессиональной заболеваемости горнорабочих для АО «СУЭК-Кузбасс» и их анализ

Результаты вычислений рисков производственного травматизма и профзаболеваемости представлены в виде

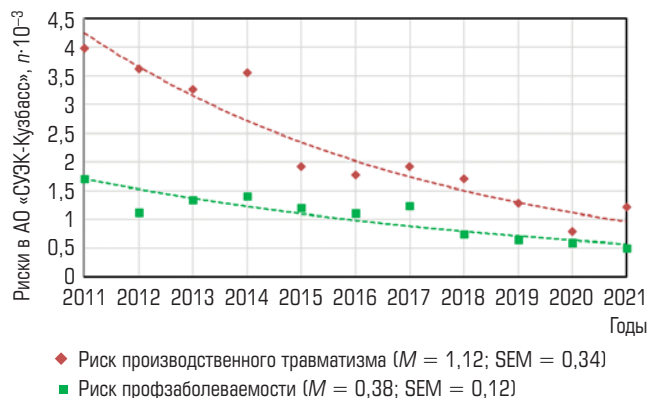


Рис. 1. Риски производственного травматизма и профзаболеваемости на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»
 M – стандартное отклонение; SEM – стандартная ошибка

корреляционных зависимостей, характеризующих динамику этих рисков за рассматриваемый период работы компании с 2011 по 2021 г. (рис. 1). При этом коэффициент детерминации для зависимостей, описывающих риски травматизма и профзаболеваемости, равны 0,88 и 0,84 соответственно.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что в течение рассматриваемого периода работы компании наблюдается снижение рисков производственного травматизма и профзаболеваемости более чем в 3 раза.

Значения фонового риска травматизма и профзаболеваемости для условий Кемеровской области были установлены на основе формул (4)–(5). Анализ расчетных данных показал, что в течение рассматриваемого периода работы компании значения фонового риска травматизма заметно снижаются, изменяясь в пределах $3,36 \cdot 10^{-3}$ – $0,22 \cdot 10^{-3}$. В то же время фоновый риск профзаболеваемости в этот период остается практически неизменным и равным $0,69 \cdot 10^{-3}$. Удельный вес фонового риска травматизма и профзаболеваемости составляет в структуре общих рисков травматизма и профзаболеваемости 28,74 и 29,9 % соответственно.

При вычислении экономического ущерба от травматизма и профзаболеваемости на угольных шахтах использованы данные, полученные в компании и ее подразделениях. Результаты расчетов показали, что для АО «СУЭК-Кузбасс» наибольший вес в структуре экономического ущерба от травматизма занимают финансовые потери, связанные с переплатой отчислений в Фонд социального страхования (ФСС) (более 58 %), а наименьший – затраты на компенсацию и реабилитацию пострадавших (4,4 %).

Экономический ущерб от профзаболеваемости на угольных шахтах включает в себя следующие составляющие: расходы на медицинское обслуживание; выплаты пособий по временной нетрудоспособности; снижение производительности труда и уменьшение числа рабочих часов; штрафы и выплаты компенсаций по решениям суда в случае нарушения правил

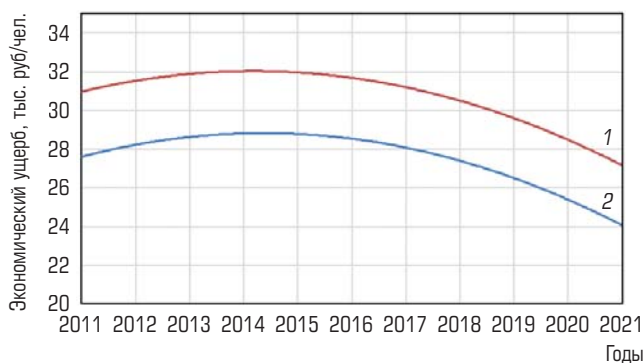


Рис. 2. Значения экономического ущерба от травматизма (1) и профзаболеваемости (2) на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

безопасности на производстве, что привело к развитию профзаболеваний у работников [27–29].

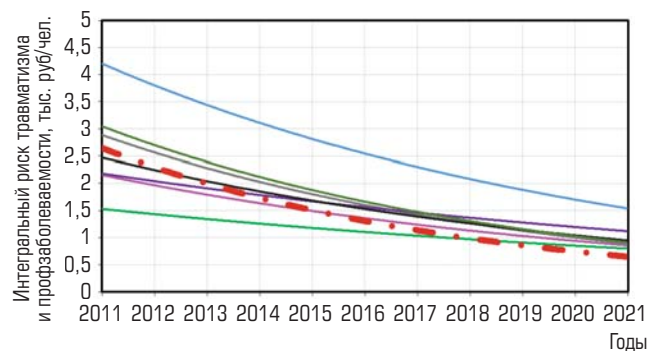
Результаты вычислений экономического ущерба от травматизма и профзаболеваемости в расчете на одного человека представлены на рис. 2. Из графика следует, что максимальное значение экономического ущерба от травматизма было зафиксировано в 2014 г., после чего произошло его снижение на 20 %. Ситуация с экономическим ущербом от профзаболеваемости была наиболее неблагоприятной в 2015 г. В остальные годы рассматриваемого периода отмечается по аналогии с травматизмом снижение экономического ущерба от профзаболеваемости на 20 %.

Для вычисления интегрального риска травматизма и профзаболеваемости использована зависимость (6). Полученные в результате расчетов данные представлены в виде корреляционной зависимости (7) на рис. 3.

В соответствии с графиком на рис. 3, к концу рассматриваемого периода интегральный риск уменьшился в 3,5 раза, что соответствует снижению за рассматриваемый период рисков травматизма и профзаболеваемости.

Поддержание тенденции снижения интегральных рисков травматизма и профзаболеваемости связано с необходимостью адресного финансирования систем охраны труда и промышленной безопасности шахт, входящих в состав компании, в соответствии с текущим состоянием системы охраны труда и промышленной безопасности на этих шахтах [30, 31].

Сопоставительную оценку состояния систем охраны труда и промышленной безопасности



— Шахта им. С. М. Кирова ($M = 0,80$; $SEM = 0,24$)
 — Шахта «Полысаевская» ($M = 1,13$; $SEM = 0,34$)
 — Шахта «Талдинская-Западная-1» ($M = 0,82$; $SEM = 0,25$)
 — Шахта им. В. Д. Ялевского ($M = 1,44$; $SEM = 0,43$)
 — Шахта «Комсомолец» ($M = 0,51$; $SEM = 0,15$)
 — Шахта им. А. Д. Рубана ($M = 0,51$; $SEM = 0,15$)
 — Шахта «Талдинская-Западная-2» ($M = 1,41$; $SEM = 0,43$)
 — АО «СУЭК-Кузбасс» ($M = 0,78$; $SEM = 0,23$)

Рис. 3. Зависимость интегрального риска травматизма и профзаболеваемости в АО «СУЭК-Кузбасс»

шахт, входящих в состав компании, следует осуществлять на основе сравнения показателей интегрального риска. Рис. 3 демонстрирует зависимости интегрального риска травматизма и профзаболеваемости для каждой из семи угольных шахт компании в течение 10-летнего периода.

При общей тенденции уменьшения интегрального риска травматизма и профзаболеваемости в течение рассматриваемого периода темп его снижения для каждой шахты может существенно отличаться от темпа, характеризующего компанию в целом (см. таблицу).

Результаты ранжирования шахт по динамике уровня интегрального риска травматизма и профзаболеваемости на основе полученного параметра K представлены на рис. 4.

Параметры корреляционных зависимостей интегрального риска травматизма и профзаболеваемости для шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Подразделение	Вид корреляционного уравнения	Корреляционное отношение	Параметр b , характеризующий динамику $M_{н.в}$	K
АО «СУЭК-Кузбасс»	$y = 3,04e^{-0,141t}$	0,94	0,141	—
Шахта им. С. М. Кирова	$y = 2,37e^{-0,092t}$	0,80	0,092	0,53
Шахта «Комсомолец»	$y = 1,63e^{-0,065t}$	0,90	0,065	1,17
Шахта «Полысаевская»	$y = 3,25e^{-0,118t}$	0,89	0,118	0,19
Шахта им. А. Д. Рубана	$y = 2,33e^{-0,067t}$	0,82	0,067	1,10
Шахта «Талдинская-Западная-1»	$y = 2,72e^{-0,096t}$	0,75	0,096	0,47
Шахта «Талдинская-Западная-2»	$y = 3,44e^{-0,121t}$	0,75	0,121	0,17
Шахта им. В. Д. Ялевского	$y = 4,65e^{-0,1t}$	0,81	0,1	0,41

Таким образом, можно выделить две шахты – «Талдинская-Западная-2» и «Польсаевская», у которых показатель K является наименьшим, что говорит об интенсивном уменьшении интегрального риска по сравнению с интегральным риском в АО «СУЭК-Кузбасс». Также стоит отметить, что шахта «Комсомолец» и шахта им. А. Д. Рубана имеют показатель $K > 1$, что свидетельствует о необходимости обратить особое внимание на улучшение комплексного показателя безопасности труда и, соответственно, разработать рекомендации по снижению уровней рисков в зависимости от причин их возникновения.

Оценка взаимосвязи рисков травматизма и профессиональной заболеваемости

Воздействие на подземный персонал угольных шахт комплекса вредных факторов: запыленности воздушной среды, шумового и вибрационного воздействия, тяжести труда, ненормативных параметров микроклимата приводит к развитию профессиональных заболеваний и ухудшению здоровья работников. Эти заболевания оказывают влияние на психофизиологические показатели горнорабочих, что снижает возможности их адекватного реагирования на возникающие в период производственной деятельности опасности. В свою очередь, это может провоцировать несчастные случаи и связанный с ними травматизм. Для проверки данного допущения был осуществлен корреляционный анализ тесноты связи между рисками производственного травматизма и профзаболеваемости различной этиологии (рис. 5).

Из графиков, представленных на рис. 5, следует, что теснота связи между производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью зависит от их этиологии. При величине корреляционного отношения 0,56, характеризующего взаимосвязь между риском травматизма и общим риском профзаболеваемости, корреляционное отношение для риска травматизма и риска профзаболеваемости от физических нагрузок, определяющих тяжесть труда, составляет 0,91. При этом корреляционная связь остальных видов профессиональной заболеваемости с травматизмом слабее (корреляционное отношение не более 0,56).

Между случайными величинами риска травматизма и профзаболеваемости существуют функциональная взаимосвязь и вероятностная (стохастическая) взаимосвязь, т. е. при изменении одной случайной величины другая случайная величина принимает соответствующее значение. В качестве одной из числовых характеристик стохастической взаимосвязи двух случайных величин вводят ковариацию случайных величин. Таким образом, рассчитав ковариацию случайных величин между рисками травматизма и рисками профзаболеваемости различной этиологии, можно отметить наиболее тесную связь между риском травматизма и риском профзаболеваемости от физических нагрузок ($cov = 0,38$).

Сформулированный вывод свидетельствует о преобладающем влиянии на производственный травматизм тяжести труда,



Рис. 4. Ранжирование шахт АО «СУЭК-Кузбасс» по динамике уровня интегрального риска травматизма и профзаболеваемости

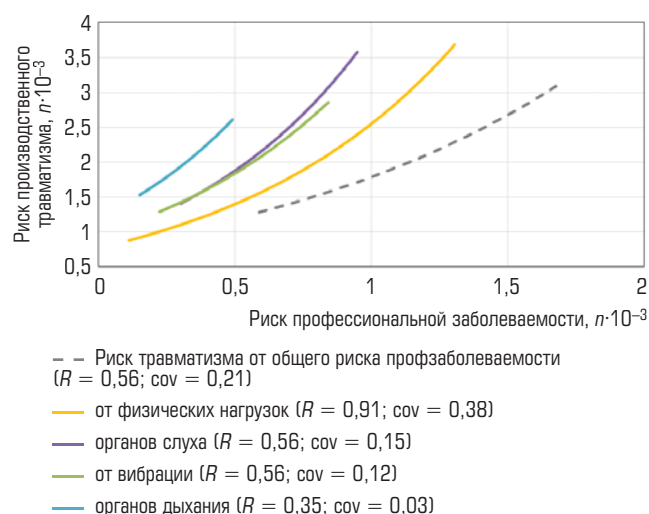


Рис. 5. Зависимость риска производственного травматизма от риска профессиональной заболеваемости (R – корреляционное отношение; cov – ковариация случайных величин)

что дает возможность говорить о необходимости реализации адресных компенсационных мероприятий.

В настоящее время для снижения тяжести труда на угольных шахтах используют бригадный подход к выполнению работ, который осуществляют путем механизации и автоматизации трудоемких операций, изменения интенсивности работ, правильной организации рабочего места, смены видов деятельности, чередования производственных операций, введения рационального режима труда и отдыха, повышения уровня профессиональной подготовки рабочих. Стоит отметить, что все основные технологические процессы в шахте механизированы (выемка и транспортирование горной массы, доставка материалов и т. д.). Для снижения степени тяжести ручного труда при выполнении вспомогательных операций применяют

средства малой механизации: ручную лебедку (монтаж и демонтаж оборудования), электрическую пилу (распиловка крепежного леса), сверла с гидро- и пневмоподдержкой (бурение шпуров). Но, несмотря на ряд применяемых мероприятий по снижению тяжести труда рабочих на угольных шахтах, показатель производственного травматизма и профессиональной заболеваемости от физических нагрузок остается на высоком уровне. В связи с этим предлагается рассмотреть современный способ снижения тяжести труда – использование промышленного экзоскелета, который позволяет стабилизировать рабочую позу и снять напряжение с некоторых опорных групп мышц горнорабочего, что в целом снижает уровень физической нагрузки на человека [32, 33].

Оценка эффективности использования экзоскелета

Для оценки эффективности использования промышленного экзоскелета проведены исследования его пассивного промышленного экземпляра X-Soft, снижающего, по данным изготовителя, нагрузку на позвоночник человека до 30 % [34]. В ходе исследования 18 мужчин с различными антропометрическими характеристиками поднимали груз с пола массой 40 кг в течение 1 мин без экзоскелета и с его использованием. Перед началом исследования у каждого участника измеряли частоту сердечных сокращений в состоянии покоя, а после каждой физической нагрузки проводили аналогичные измерения.

Оценку тяжести выполняемой физической работы осуществляли на основе физиологического показателя, характеризующего частоту сердечных сокращений. В зависимости от интервала изменения этого показателя физические нагрузки подразделяли на четыре категории: малые (75–100 с⁻¹), умеренные (101–120 с⁻¹), тяжелые (121–150 с⁻¹) и очень тяжелые (более 150 с⁻¹). Результаты измерений частоты сердечных сокращений у 18 участников испытаний показали, что после выполнения физических нагрузок их величины без использования и с использованием экзоскелета в среднем составили 128 и 117 с⁻¹, что соответствует тяжелой и умеренной физической нагрузке.

Для оценки эффективности использования экзоскелета был рассчитан так называемый коэффициент устойчивости вегетативной регуляции сердечного ритма:

$$КУ = ЧСС_1 / ЧСС_2, \quad (9)$$

где ЧСС₁ – частота сердечных сокращений в покое, с⁻¹; ЧСС₂ – частота сердечных сокращений после физических нагрузок, с⁻¹.

Вычисленные по формуле (9) величины КУ участников испытаний при выполнении ими физических упражнений с использованием экзоскелета и без него представлены на **рис. 6**, из которого следует, что использование экзоскелета способствует повышению коэффициента устойчивости вегетативной регуляции сердечного ритма человека.

Результаты проведенных измерений свидетельствуют, что использование экзоскелета привело к увеличению числа

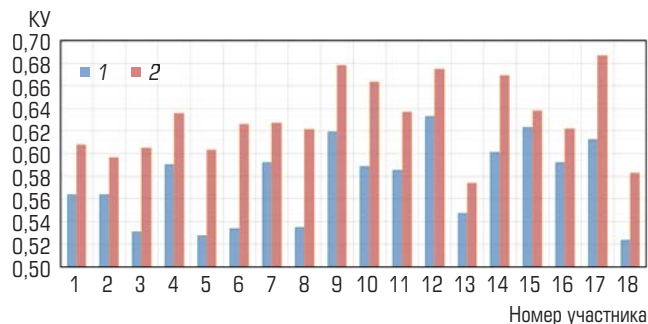


Рис. 6. Результаты расчета коэффициентов устойчивости вегетативной регуляции сердечного ритма:

1, 2 – без экзоскелета и с его использованием

подъемов груза в среднем на 21 % при одновременном снижении частоты сердечных сокращений после физической нагрузки на 10 % по сравнению с выполнением упражнений без экзоскелета. Статистически значимые отличия показателей коэффициента устойчивости при выполнении работы с применением экзоскелета и без него по критерию Уилкоксона $p = 0,000196$, что подтверждает достоверность выполненных исследований.

Следует отметить, что конечным звеном управления безопасностью является человек, поскольку именно он определяет надежность системы. Физиологические затраты приводят к утомлению, что сказывается на повышении рисков травматизма и профзаболеваемости рабочих. Избыточные усилия должны быть определены до того, как они произошли. Физиологический аспект деятельности человека имеет эквивалент в виде учащения дыхания и увеличения частоты сердечных сокращений. При постоянных чрезмерных для организма физических нагрузках он может проявляться либо в прямом исчерпании резервов функциональных систем обеспечения деятельности, либо в снижении резистентности к факторам производственной среды. Таким образом, согласно проведенному исследованию, применение экзоскелета дает возможность уменьшить физиологическую составляющую деятельности человека примерно на 10 %, что косвенно определяет аналогичное снижение тяжести труда горнорабочих и будет способствовать сокращению рисков профессиональной заболеваемости и травматизма.

Заключение

В статье предложены методические подходы к выбору приоритетных направлений управления охраной труда на примере АО «СУЭК-Кузбасс». Их основу составляют следующие положения.

1. Выбор управленческих решений по охране труда на угольных шахтах следует осуществлять на основе комплексного показателя, рассчитываемого по величине интегрального риска, определяемого сочетанным действием рисков

травматизма и профзаболеваемости с учетом их фоновых значений, а также экономического ущерба.


2. При определении приоритетов в процессе планирования работ по охране труда в угольных компаниях с несколькими шахтами выбор первоочередного объекта для реализации мероприятий, гарантирующих снижение уровня травматизма и профзаболеваемости в компании, следует осуществлять на основе сопоставления коэффициентов, учитывающих сравнительную динамику интегрального риска травматизма и профзаболеваемости для каждой шахты и компании в целом.

3. Разработанные комплексный показатель и методика оценки рисков обладают практической значимостью для предприятий угольной промышленности. Они могут быть использованы отделами охраны труда для анализа и оценки рисков, принятия управленческих решений и планирования мероприятий по снижению травматизма и профзаболеваемости горнорабочих.

4. Приоритетные направления снижения травматизма и профзаболеваемости на угольных шахтах следует устанавливать на основании анализа тесноты корреляционных связей между рисками травматизма и профессиональной заболеваемости.

5. Уменьшение рисков производственного травматизма на угольных шахтах, а именно – при выполнении работ, связанных с высокой тяжестью труда, может быть достигнуто за счет сокращения риска профессиональной заболеваемости рабочих с помощью различных средств коллективной защиты, а также посредством современного метода – использования экзоскелета.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 9, pp. 41–48
DOI: 10.17580/gzh.2023.09.06

Methodical framework for selecting occupational safety management priorities in underground coal mining on the basis of integrated occupational illness and injury risk dynamics analysis

Information about authors

S. G. Gendler¹, Head of Department, Professor, Doctor of Engineering Sciences

E. A. Prokhorova¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, Prokhorova_EA2@pers.spmi.ru

¹Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

In the coal mining industry, occupational safety is one of the critical objectives as the industry features high risk of occupational illness and injury rates due to exposure to numerous hazards during execution of work. Unfavorable climatic and ecological conditions in a coal mining region also exert an adverse effect on health and safety of miners. The aim of this study is to develop an estimation procedure for an integrated index of an associate risk of occupational diseases and injuries, including background values, and economic damage, with subsequent identification of the labor safety improvement priorities. The calculation data on the integrated occupational illness and injury risk are presented as a case-study of SUEK-Kuzbass company. It is proved that ranking of coal mines by the integrated risk dynamics criterion allows determining the priorities of occupational safety management as the maintenance of the integrated occupational illness and injury risk reduction is connected with the target financing of the labor and production safety systems of the mines affiliated in the Company. The close relation between the occupational diseases and injuries subject to their etiology is validated. The prevailing influence on the occupational injury rate is exerted by the labor difficulty. For this reason, it is proved to be necessary to implement some target compensation activities, such as the use of exo skeletons, for instance, which reduce the musculoskeleton system load, which weakens the exercise stress and prevents injuries.

Keywords: coal industry, occupation injury rate, occupational illness, background risks in coal mining regions, industrial exo skeleton, risk-oriented approach, occupational safety.

References

- Litvinenko V. S., Petrov E. I., Vasilevskaya D. V., Yakovenko A. V., Naumov I. A. et al. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 259. pp. 95–111.

- Tsyglianu P. P., Romasheva N. V., Fadeeva M. L., Petrov I. V. Engineering projects in the Russian fuel and energy complex: Actual problems, factors and recommendations for development. *Ugol*. 2023. No. 3. pp. 45–51.
- Gendler S. G., Fazylov I. R., Abashin A. N. The results of experimental studies of the thermal regime of oil mines in the thermal method of oil production. *GIAB*. 2022. No. 6-1. pp. 248–262.
- Xuelong Li, Zuoyong Cao, Youlin Xu. Characteristics and trends of coal mine safety development. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2021. Vol. 43. DOI: 10.1080/15567036.2020.1852339
- Fomin A. I., Osipova A. A. The actuality of research of problems of industrial injuries and occupational diseases. *Performance Safety of Business Entities in Industrially Developed Regions: XII International Conference Proceedings*. Kemerovo : KuzGTU, 2017.
- Lu-jie Zhou, Qing-gui Cao, Kai Yu, Lin-lin Wang, Hai-bin Wang. Research on occupational safety, health management and risk control technology in coal mines. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, Iss. 5. 868. DOI: 10.3390/ijerph15050868
- Kabanov E. I. Allowable occupational injury risk assessment in coal mining industry. *GIAB*. 2022. No. 5. pp. 167–180.
- Balovtsev S. V., Vorobeva O. V. Analysis of the safety condition in the Russian coal industry. *GIAB*. 2019. No. 6. Special issue 17. Safety and Risk Control in Mining and Metallurgy. pp. 3–10.
- Kravchuk I. L., Grishin V. Yu., Smolin A. V. The risk of adverse events due to violations of safety requirements, and methods for its reduction. *GIAB*. 2015. No. 6. Special issue 28. 20 p.
- Rudakov M., Gridina E., Kretschmann J. Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Iss. 2. 470. DOI: 10.3390/su13020470
- Smolin A. V., Nevolina E. M. The risk-oriented approach to monitoring violations of safety requirements on coal mines. *GIAB*. 2017. Special issue 37. Open pit mining in the 21st century: Results, problems, potential growth prospects-1. pp. 176–182.
- Rudakov M. L., Duka N. E. Analysis of properties of deafeners to design personal ear protectors. *GIAB*. 2022. No. 3. pp. 165–180.
- Chemezov E. N. Industrial safety principles in coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 240. pp. 649–653.
- Lian Hua Cheng, Dong Qiang Cao, Hui Min Guo. Analysis of coal mine occupational disease hazard evaluation index based on AHP-DEMATEL. *Archives of Environmental & Occupational Health*. 2021. Vol. 76, Iss. 7. pp. 372–384.
- Mikhina T. V. Accident rate in the mining industry: state-of-the-art. *GIAB*. 2017. No. 11. pp. 192–199.

16. Piktushanskaya T. E. Evaluation of a posteriori occupational risk in coal miners. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2009. No. 1. pp. 32–37.
17. Mikhaylov V. G., Kiseleva T. V., Mikhaylova Ya. S. Development of a system to manage the environmental and economic security of a coal mining region. *Ugol*. 2021. No. 12. pp. 50–56.
18. Kondrasheva N. K., Ereemeeva A. M. Production of biodiesel fuel from vegetable raw materials. *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 260. pp. 248–256.
19. Golik V. I., Stas G. V., Liskova M. Yu., Kongar-Syuryun Ch. B. Improvement of the occupational safety by radical isolation of pollution sources during underground ore mining. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*. 2021. No. 7. pp. 7–12.
20. Gendler S. G., Prokhorova E. A. Assessment of the cumulative impact of occupational injuries and diseases on the state of labor protection in the coal industry. *GIAB*. 2022. No. 10-2. pp. 105–116.
21. Kabanov E. I., Pankin A. N., Korshunov G. I. Development of matrix risk assessment method in field of occupational safety and health management. *GIAB*. 2020. No. 6. Special issue 23. Occupational Risk Reduction in Coal Mining Industry. pp. 31–42.
22. Working Environment. Federal State Statistics Service. Available at: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (accessed: 15.04.2023).
23. Rodionov V. A., Tursenev S. A., Skripnik I. L., Ksenofontov Yu. G. Results of the study of kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 246. pp. 617–622.
24. Mishra R. K., Rinne M. Guidelines to design the scope of a geotechnical risk assessment for underground mines. *Journal of Mining Science*. 2014. Vol. 50, Iss. 4. pp. 745–756.
25. Babyr N., Babyr K. To improve the contact adaptability of mechanical roof support. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources : Proceedings of XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers*. 2021. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 266. 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202126603015
26. Kornev A. V., Spitsin A. A., Korshunov G. I., Bazhenova V. A. Preventing dust explosions in coal mines: methods and current trends. *GIAB*. 2023. No. 3. pp. 133–149.
27. Kravchuk I. L., Nevolina E. M., Emelin Yu. A. Economic aspect of production risk management. *GIAB*. 2019. No. 10. pp. 16–21.
28. Blinova E., Ponomarenko T., Tesovskaya S. Key corporate sustainability assessment methods for coal companies. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, Iss. 7. 5763. DOI: 10.3390/su15075763
29. Dubovets D. S. Social and economic damage from industrial traumatism and occupational diseases. *Okhrana i ekonomika truda*. 2018. No. 3(32). pp. 20–24.
30. Kuklina T. V. Labor protection at Kuzbass coal enterprises in the context of decent work. *Sustainable Social and Economic Development in the Russian Federation : XXIII All-Russian Conference Proceedings*. Simferopol : IT "ARIAL", 2021. pp. 113–118.
31. Smagina S. S., Kadnikova O. V., Rolgayzer A. A. Industrial safety management at Kuzbass coal mining enterprises. *Ekonomika truda*. 2018. Vol. 5, No. 2. pp. 541–553.
32. Zinoveva O. M., Merkulova A. M., Smirnova N. A., Zholmanov D. K. Methodological approach to risk management improvement in mines on the ground of managerial competence analysis. *GIAB*. 2023. No. 4. pp. 168–178.
33. Kravchuk I. L., Kravchuk T. S., Kutuzova A. A. Analysis of industrial injuries in coalmines with the risk-based approach (on the example of JSC "SUEK-Kuzbass"). *Problemy nedropolzovaniya*. 2021. No. 3(30). pp. 6–15.
34. X-Soft. Exoris. Available at: <https://exorise.com/projects/x-soft.html> (accessed: 15.06.2022).

УДК 622.8

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ С УЧЕТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА



Е. И. КАБАНОВ,

доцент, канд. техн. наук,
kabanov_ei@pers.spmi.ru

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

Введение

В период с 2010 по 2020 г. удельный показатель смертельного травматизма при подземной добыче угля снизился с 1,35 до 0,14 чел/млн т [1, 2]. Однако систематически происходят крупные аварии с многочисленными жертвами (2013, 2016, 2021 гг.), что нарушает общую тенденцию снижения уровня травматизма и требует повышения степени противоаварийной защиты угольных шахт [3, 4].

Каждая авария является следствием совокупного действия горно-геологических, технологических, организационных

Проанализированы данные о возникновении опасностей и риска аварий на угольных шахтах. Обоснована актуальность применения риск-ориентированного подхода для обеспечения противоаварийной устойчивости угледобывающих предприятий. Предложена концептуальная схема противоаварийной защиты угольных шахт, включающая три уровня защиты. Описан алгоритм расчета показателей риска аварий с учетом человеческого фактора. Представлены результаты апробации предложенного метода на примере действующих в России угольных шахт.

Ключевые слова: угольная шахта, промышленная безопасность, охрана труда, противоаварийная защита, риск-ориентированный подход, оценка риска, управление риском, человеческий фактор

DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07

причин и человеческого фактора, что требует проведения системных мероприятий по обеспечению противоаварийной устойчивости [5]. К настоящему времени разработаны технологии, позволяющие безопасно осуществлять подземную добычу угля в сложных горно-геологических условиях, и наиболее уязвимым элементом в системе противоаварийной