

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ГОРНОМ ДЕЛЕ

А.В. Шалимова¹, А.Э. Филин¹

¹ НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Горнодобывающая промышленность характеризуется воздействием специфических опасных и вредных факторов, что, в свою очередь, сопряжено с возникновением рисков производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. С целью снижения рисков требуются современные методы учета, анализа и прогнозирования показателей травматизма, чему отвечают статистические методы обработки данных. Базой для исследования послужили свидетельства оценочного аудита пяти отечественных предприятий горнопромышленного комплекса. В ходе обработки статистики травматизма за период с 1975 по 2017 гг. регрессионным методом была получена математическая модель, позволяющая спрогнозировать количество несчастных случаев на производстве на следующий год, что в некоторой степени подтвердило гипотезу, выдвинутую в начале исследования. Как показала практика, горнопромышленные предприятия РФ ведут статистику травматизма в виде агрегированных данных, что делает невозможным прогноз вероятных причин возникновения несчастных случаев. В исследовании предложена форма для корректного сбора статистики травматизма на горных предприятиях для получения усовершенствованной модели прогнозирования не только количества несчастных случаев на следующий год, но и вероятных причин возникновения, что, в свою очередь, может послужить основой для определения мероприятий по охране труда на будущий год.

Ключевые слова: контрольная карта Шухарта, SPSS Statistics, математическая модель прогнозирования, линейная регрессия, горное дело, производственный травматизм, управление рисками, система управления охраной труда, аудит.

Для цитирования: Шалимова А.В., Филин А.Э. Разработка математической модели прогнозирования производственного травматизма в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 209–219. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-209-219.

Development of a mathematical forecasting model for occupational injuries in mining

A.V. Shalimova¹, A.E. Filin¹

¹ NUST «MISIS», Moscow, Russia

Abstract: The mining industry is characterized by the influence of special hazardous and harmful factors that, in turn, is associated with the risk of occupational injuries and occupational diseases. In order to reduce the risks, modern methods of accounting, analysis and forecasting

of injury rates are required. Statistical methods of data processing are consistent with these requirements. The basis for the study was evidence from an appraisal audit of five domestic enterprises of the mining complex. In the course of processing injury statistics for the period from 1975 to 2017 with the regression method, a mathematical model was obtained. The model makes it possible to predict the number of accidents at work for the next year. To some extent it confirmed the hypothesis which was put forward at the beginning of the study. As practice has shown, the mining enterprises of the Russian Federation keep statistics of injuries in the form of aggregated data, which makes it impossible to predict the probable causes of accidents. The study proposed a form for the correct collection of statistics of injuries at mining enterprises. The form helps to obtain an improved model for predicting not only the number of accidents for the next year, but also the probable causes of the accidents, which, in turn, can serve as a basis for determining labor safety arrangements for the next year.

Key words: Shewhart control chart, SPSS Statistics, mathematical forecasting model, linear regression, mining, occupational injuries, risk management, health and safety management system, audit.

For citation: Shalimova A.V., Filin A.E. Development of a mathematical forecasting model for occupational injuries in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):209-219. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-209-219.

Введение

Оценка и управление рисками производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является составной частью системы управления охраной труда (СУОТ) предприятий РФ, отвечающей в том числе за предупреждение травматизма и профессиональных заболеваний [1, 2]. Именно поэтому на предприятиях систематически проводится внутренний и внешний аудит СУОТ, эффективность которой подтверждается рядом исследований [3, 4]. В свою очередь, группой сертифицированных аудиторов кафедры «Техносферная безопасность» НИТУ «МИСиС» был проведен оценочный аудит пяти предприятий горнопромышленного комплекса РФ. Вследствие чего в соответствии с поставленной задачей была проведена обработка свидетельств аудита.

Целью аудита системы управления охраны труда (ОТ) являлась оценка текущей деятельности структурных подразделений, Управления охраной труда; оценка результативности функционирования системы управления ОТ

и соответствия требованиям нормативной базы РФ.

Аудит был выполнен в соответствии с установленными процедурами общепринятой практики сбора информации, анализа и дальнейшего консультирования. При проведении оценки результативности учитывалось, что на отечественных предприятиях сложился определенный порядок управления охраной труда, а также появились отдельные элементы управления промышленной безопасностью.

Для оценки системы управления ОТ горнопромышленных предприятий РФ аудиторы основывались на: анализе действующих документов и материалов, предоставленных предприятиями горнопромышленного комплекса; визуальном наблюдении рабочих процессов при посещении объектов и подразделений; повседневной деятельности персонала в области требований системы управления охраной труда.

Так, одно из исследуемых предприятий предоставило статистику травматизма с 1975 по 2017 гг., отраженную на рис. 1.

Построение контрольных карт Шухарта

При статистической обработке показателей травматизма исследуемого предприятия была использована контрольная карта Шухарта, которая позволила детально обработать предоставленные ежемесячные данные с 1975 по 2017 гг. [5].

Предоставленная статистика травматизма с 1975 по 2017 гг. содержит данные из 393 значений показателя травматизма, по которым были построены карты индивидуальных значений и скользящих размахов. Карта индивидуальных значений отражает сами значения процесса, а карта скользящих размахов содержит одноименную величину — модуль разности последовательных значений. Для построения карты индивидуальных значений были рассчитаны значения центральной линии и верхнего контрольного предела, отраженных на рис. 2.

На рис. 3 представлена карта скользящих размахов. Для ее построения также были рассчитаны значения центральной линии и верхнего контрольного предела. Как видно по рисункам, с 2001 по 2002 гг. на исследуемом предприятии резко снизилась численность пострадавших. В связи с этим был также произведен пересчет центральной линии и верхнего контрольного предела для обеих карт, о чем свидетельствуют рис. 2 и 3.

Несмотря на произведенный пересчет центральной линии и верхнего контрольного предела для обеих карт с учетом резко изменившейся численности пострадавших, процесс нестабилен — имеются выбросы за пределы верхних контрольных границ. Нестабильный процесс считают управляемым, что говорит о его непредсказуемости [5, 6]. А если учитывать современную тенденцию к концепции

«Нулевой травматизм», то верхние контрольные границы необходимо заменить на границы допуска, подразумевающие приемлемый уровень травматизма, что приведет к увеличению выбросов. Это говорит о том, что предприятию необходимо идентифицировать и устранять причины возникновения инцидентов с целью приближения процесса к стабильному или управляемому состоянию — точки в таком случае лежат внутри границ допуска. С целью прогнозирования количества несчастных случаев на будущий год с указанием их причин в рамках данной работы была построена следующая регрессионная модель [7, 8].

Построение математической модели прогнозирования производственного травматизма

Перед построением математической модели по исходным данным была выдвинута следующая гипотеза: математическая модель, основанная на массиве данных несчастных случаев исследуемого предприятия с 1975 по 2017 гг., позволяет прогнозировать количество несчастных случаев с указанием причин на год вперед.

Представленный набор данных содержит информацию о количестве травм и летальных исходов исследуемого предприятия, распределенных на 20 видов несчастных случаев, за период с 1975 по 2017 гг. В начале работы было выявлено, что исходные данные имеют агрегированный характер. Вероятно, математическая модель может не указывать причины возникновения несчастных случаев.

Для построения модели была использована классическая линейная регрессия в программном обеспечении IBM SPSS Statistics, описанная формулой (1).

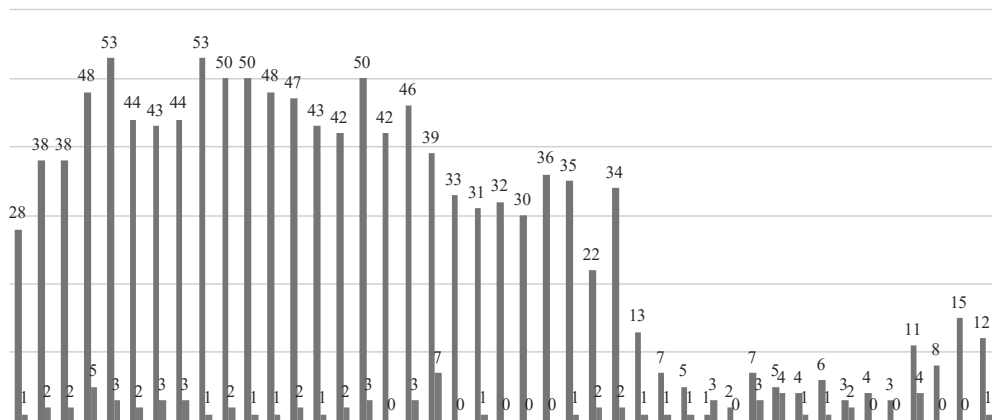


Рис. 1. Статистика травматизма исследуемого предприятия с 1975 по 2017 гг.
 Fig. 1. Statistics of injuries at the studied enterprise from 1975 to 2017

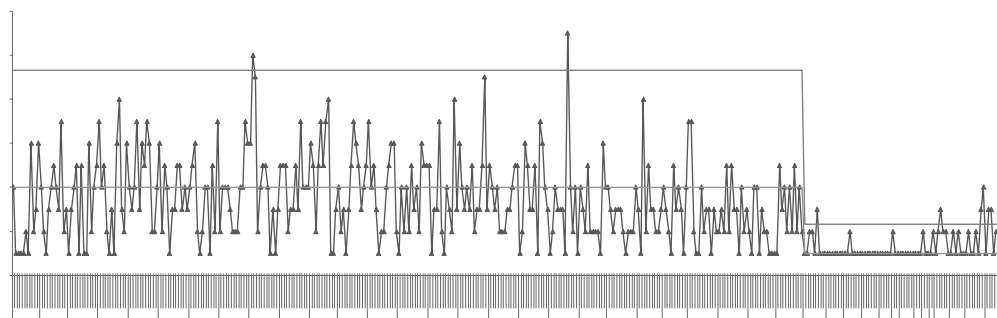


Рис. 2. Карта индивидуальных значений показателя травматизма исследуемого предприятия
 Fig. 2. Chart of individual values of the injury rate at the studied enterprise

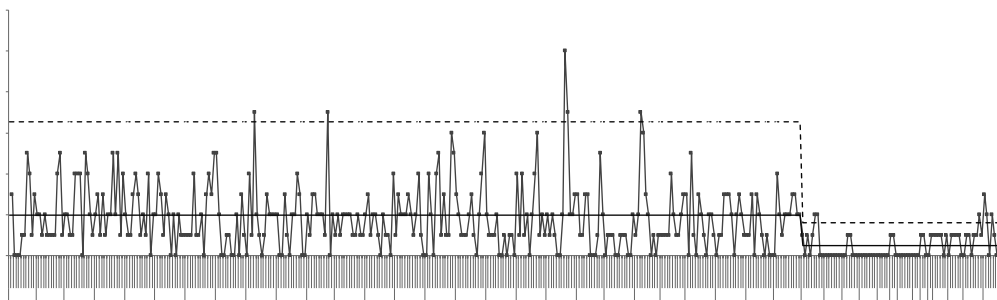


Рис. 3. Карта скользящих размахов показателя травматизма исследуемого предприятия
 Fig. 3. Chart of moving ranges of the injury rate at the studied enterprise

$$Y_{i+1} = a + \sum_{j=1}^n (b_j \cdot X_{ji}), \quad (1)$$

где Y_{i+1} – суммарное количество несчастных случаев на следующий год ($i+1$); a – константа; b_i – коэф-

фициент регрессии; X_{ji} – количество несчастных случаев в i -год по виду несчастного случая j .

Из набора данных для рассмотрения были исключены следующие

Таблица 1
Коэффициенты линейной регрессии
Linear regression coefficients

	Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты, Бета	t-статистика	Значимость, t-критерий	Доверительный интервал для b_i , границы	
	b_i	Стандартная ошибка				Нижняя	Верхняя
a	2,065	1,960	–	1,053	0,299	1,911	6,041
x_1	1,665	0,263	0,392	6,331	0,000	1,132	2,199
x_2	2,386	0,492	0,304	4,847	0,000	1,387	3,384
x_3	1,190	0,345	0,223	3,448	0,001	0,490	1,890
x_4	1,418	0,366	0,238	3,873	0,000	0,675	2,160
x_5	2,737	0,782	0,217	3,500	0,001	1,151	4,322

виды несчастных случаев: блокировка источников энергии; работа в замкнутом пространстве; утопление; пожар и взрыв; внутризаводской колесный транспорт; контакт с растениями, животными; противоправные действия других лиц. Их не учитывали, потому что несчастные случаи этих категорий не происходили совсем, либо происходили очень редко. Также из построения модели был исключен фактор «Прочее» ввиду того, что он представлял собой суммарные значения редко встречающихся типов происшествий.

Отбор переменных для модели осуществлялся пошагово — на каждом шаге в уравнение добавлялась новая независимая переменная x , которая имеет наибольшую корреляцию с Y . Модель, содержащая одну выбранную переменную x , проверяется на значимость при помощи F -критерия. Если значимость модели не подтверждается, то алгоритм на этом заканчивается, в противном случае, значимая независимая переменная вводится в модель, и осуществляется переход к следующему пункту алгоритма [9]. В результате данной процедуры были получены следующие коэффициенты, представленные в табл. 1, где $x_1 - x_5$ — причины несчастных случаев: отсутствие

ограждения оборудования, падение предметов с высоты, падение на поверхности одного уровня, падение с высоты, воздействие экстремальных температур.

T -статистика позволяет выявить показатель значимости — t -критерий, который описывает значимость регрессионной модели. Если t -критерий меньше 0,05, то можно говорить о справедливости полученной модели, построенной на основе данных, попавших в выборку, для всей генеральной совокупности. Как видно из табл. 1, $x_1 - x_5$ удовлетворяют диапазону от 0,00 до 0,05. Причины несчастных случаев с вероятностью 0,95 располагаются в доверительном интервале.

Таким образом, значимыми оказались следующие причины возникновения инцидентов: отсутствие ограждения оборудования; падение предметов с высоты; падение на поверхности одного уровня; падение с высоты; воздействие экстремальных температур, что также коррелирует с исследованиями в области горнопромышленного комплекса [10–15]. Для каждого вида несчастного случая были построены диаграммы рассеивания между значимыми факторами и прогнозируемым значением. В качестве примера на рис. 4 приведена диаграмма частной регрес-

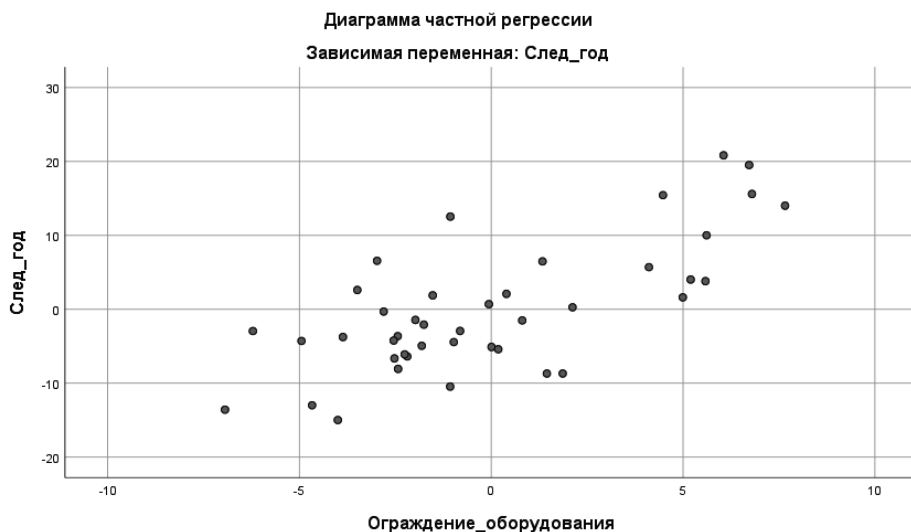


Рис. 4. Диаграмма рассеивания между видом несчастного случая «отсутствие ограждения оборудования» и прогнозируемым значением
Fig. 4. Scatter diagram of the type of accident «lack of equipment enclosure» and the predicted value

сии для несчастного случая «отсутствие ограждения оборудования».

Анализ диаграмм рассеивания между значимыми факторами и прогнозируемым значением выявил закономерности — чем больше несчастных случаев по указанным видам несчастных случаев на текущий год, тем больше суммарных происшествий в будущем году.

Важно, что у полученной математической модели высокая значимость прогнозируемых результатов — скорректированный коэффициент детерминации $R^2 = 0,88$. Это означает, что построенная модель верна для 88 % прогнозируемых несчастных случаев. Таким образом, предложена модель регрессии, описанная формулой (2), учитывающая полученные коэффициенты регрессии b_i и вследствие чего предсказывающая суммарное значение несчастных случаев на следующий год:

$$Y_{i+1} = 2,065 + 1,665 \cdot x_{1i} + 2,386 \cdot x_{2i} + 1,190 \cdot x_{3i} + 1,418 \cdot x_{4i} + 2,737 \cdot x_{5i}, \quad (2)$$

где Y_{i+1} — суммарное количество несчастных случаев на следующий год ($i+1$); x_{1i} — количество несчастных случаев по виду происшествия «отсутствие ограждения оборудования» за текущий год (i); x_{2i} — количество несчастных случаев по виду происшествия «падение предметов с высоты» за текущий год (i); x_{3i} — количество несчастных случаев по виду происшествия «падение на поверхности одного уровня» за текущий год (i); x_{4i} — количество несчастных случаев по виду происшествия «падение с высоты» за текущий год (i); x_{5i} — количество несчастных случаев по виду происшествия «воздействие экстремальных температур» за текущий год (i).

Тестирование математической модели прогнозирования производственного травматизма

Следующим этапом стало тестирование предложенной модели на основе статистических данных травматизма исследуемого предприятия. Ниже в табл. 2 представлены наблюдаемые

Таблица 2

Тестирование предложенной модели на основе статистических данных травматизма в период с 1976 по 2017 гг.

Testing the proposed model based on statistics of injuries in the period from 1976 to 2017

Год	Наблюдаемые	Предсказанные	Разница
1976	40,0	32,6	7,4
1977	40,0	32,0	8,0
1978	53,0	38,7	14,3
1979	56,0	51,7	4,3
1980	46,0	42,1	3,9
1981	46,0	45,3	0,7
1982	47,0	38,6	8,4
1983	54,0	52,6	1,4
1984	52,0	57,1	-5,1
1985	51,0	59,7	-8,7
1986	49,0	44,7	4,3
1987	49,0	48,2	0,8
1988	44,0	46,0	-2,0
1989	44,0	43,6	0,4
1990	53,0	48,6	4,4
1991	42,0	45,3	-3,3
1992	49,0	40,7	8,3
1993	46,0	51,5	-5,5
1994	33,0	37,6	-4,6
1995	32,0	38,7	-6,7
1996	32,0	30,7	1,3
1997	30,0	31,2	-1,2
1998	36,0	38,9	-2,9
1999	36,0	38,7	-2,7
2000	24,0	35,8	-11,8
2001	36,0	25,3	10,7
2002	14,0	25,1	-11,1
2003	8,0	13,7	-5,7
2004	6,0	11,2	-5,2
2005	4,0	6,3	2,3
2006	2,0	4,5	-2,5
2007	10,0	5,6	4,4
2008	9,0	6,3	2,7
2009	5,0	13,3	-8,3
2010	7,0	5,1	1,9
2011	5,0	6,6	-1,6
2012	4,0	6,8	-2,8
2013	3,0	4,9	-1,9
2014	15,0	3,5	11,5

Год	Наблюдаемые	Предсказанные	Разница
2015	8,0	12,0	-4,0
2016	15,0	14,1	0,9
2017	13,0	13,0	0,0

Таблица 3
Статистика остатков
Statistics of residuals

	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение	Количество данных
Предсказанное значение	3,48	59,68	29,71	17,68	42,00
Остаток	-11,79	14,31	0,00	6,01	42,00

Таблица 4
Рекомендованная форма для сбора статистики
Recommended form for statistics collection

№	Дата	Время	ФИО пострадавшего	Пол	Стаж работы	Образование	Степень тяжести травмы	Описание происшествия	Коренная причина
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

и предсказанные значения количества несчастных случаев, а также разница между ними в период с 1976 по 2017 гг.

Теперь оценим качество полученной модели на исходных данных. Как видно из табл. 2, максимальные ошибки прогноза модели приходятся на 1978, 2000—2002, 2014 гг., что согласуется с данными, полученными на контрольных картах Шухарта, представленными выше. Именно этот факт внес вклад в разницу между предсказанным и наблюдаемым значением, что отражено в статистике остатков, представленной в табл. 3.

Обращает на себя внимание тот факт, что среднее значение остатков составляет 0,00. Это говорит о надежном прогностическом свойстве разработанной математической модели.

Заключение

Таким образом, математическая модель позволяет прогнозировать коли-

чество несчастных случаев на производстве на будущий год, что в некоторой степени подтверждает выдвинутую гипотезу. В связи с тем, что исходные данные имели агрегированный характер, модель не указывает вероятные причины возникновения несчастных случаев, а выдает лишь их количество. Так, была предложена форма, представленная в табл. 4, для сбора статистики травматизма на предприятиях для получения усовершенствованной модели прогнозирования не только количества несчастных случаев на следующий год, но и вероятных причин возникновения. Для получения усовершенствованной модели, полностью подтверждающей гипотезу, необходимо собрать данные с трех или более предприятий за последние 15—20 лет.

Следует обратить внимание, что данные в таком случае собираются индивидуально по каждому случаю,

а не агрегируются. Это дает возможность модели прогнозировать не только количество, но и причины возникновения инцидентов, а также дает возможность оценить влияние стажа, возраста сотрудника, сменности и пр. Таким образом, модель может стать основой для определения мероприятий в области охраны труда на будущий год.

Выводы

1. Подход к прогнозированию производственного травматизма предприятий горнопромышленного комплекса на основе разработанной математиче-

ской модели позволяет получить количество несчастных случаев на будущий год для определения мероприятий в области охраны труда с целью снижения рисков.

2. Недостатком полученной модели является невозможность обработки агрегированных данных.

3. Рекомендованная форма для сбора статистики травматизма на предприятиях позволит получить усовершенствованную модель прогнозирования, позволяющую спрогнозировать вероятные причины возникновения несчастных случаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потоцкий Е.П., Фирсова В.М., Сахарова Е.А.* Учет сочетанного действия комплекса вредных факторов и анализ влияния производственного фактора химической природы на уровень профессионального риска // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2018. — Т. 61. — № 1. — С. 35–39. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-1-35-39.

2. *Михайлова В.Н., Баловцев С.В., Христофоров Н.Р.* Оценка риска возникновения профессиональных заболеваний органов слуха у горнорабочих при нарушении статьи 27 Федерального закона 52 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 228–234. DOI: 10.25018/0236–1493–2018–5-0–228–234.

3. *Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M.* Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries // Eurasian Mining. 2018. No 1. Pp. 31–34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.

4. *Виноградова О.В.* Ошибки человека как фактор производственного риска в горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 137–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-137-145.

5. *Vox G., Narasimhan S.* (2010) Rethinking Statistics for Quality Control. — Quality Engineering, vol. 22, pp.60–72.

6. *Roughton, J., Crutchfield, N., & Waite, M.* (2019). Assessing Your Safety Management System. Safety Culture, 345–374. doi:10.1016/b978-0-12-814663-7.00014-5.

7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. — М.: Радио и связь. — 1993. — 278 с.

8. *Laal F., Pouyakian M., Madvari R.F., Khoshakhlagh A.H., Halvani G.H.,* Investigating the Impact of Establishing Integrated Management Systems on Accidents and Safety Performance Indices: A case study, Safety and Health at Work (2018), doi: 10.1016/j.shaw.2018.04.001.

9. Технология анализа данных. Методы отбора переменных в регрессионные модели. [Электронный ресурс]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/feature-selection> (дата обращения: 15.10.2020).

10. *Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Коликов К.С.* Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

11. Скопинцева О.В., Ганова С.Д., Бузин А.А., Федотова В.П. Мероприятия по борьбе с пылью при погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – 2019. – № 12. – С. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.
12. Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 6. – С. 109–115.
13. Q. Liu, X. Meng, X. Li, X. Luo Q. Liu, X. Meng, X. Li, X. Luo. Risk precontrol continuum and risk gradient control in underground coal mining. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 129. Pp. 210–219. DOI: 10.1016/j.psep.2019.06.03.
14. Kulikova E. Yu. Defects of urban underground structure and their prediction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 451(1), 012108. DOI: 10.1088/1757–899X/451/1/012108.
15. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 962 042020. <https://doi.org/10.1088/1757–899X/962/4/042020>. **MIAB**

REFERENCES

1. Pototskii E.P., Firsova V.M., Sakharova E.A. Account of joint effect of the complex of harmful factors and analysis of the influence of production factor of chemical nature on the level of professional risk. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, 2018, 61(1), pp. 35–39. [In Russ]. DOI: 10.17073/0368–0797–2018–1-35–39.
2. Mikhaylova V.N., Balovtsev S.V., Khristoforov N.R. Assessment of occupational hearing disorder on the violation of article 27 of federal law 52 in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 5, pp. 228–234. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-228-234. [In Russ].
3. Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*. 2018. no. 1. Pp. 31–34. DOI: 10.17580/em.2018.01.07.
4. Vinogradova O.V. Human errors as a factor of production risk in the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6–1):137–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-137-145.
5. Box G., Narasimhan S. (2010) *Rethinking Statistics for Quality Control*. – Quality Engineering, vol. 22, pp.60–72.
6. Roughton, J., Crutchfield, N., & Waite, M. (2019). Assessing Your Safety Management System. *Safety Culture*, 345–374. doi:10.1016/b978-0-12-814663-7.00014-5.
7. Prinyatiye resheniy. *Metod analiza iyerarkhiy* [Making decisions. Method of analysis of hierarchies] per. s angl. R.G. Vachnadze. Moscow: Radio i svyaz'. 1993, 278 p. [In Russ].
8. Laal F., Pouyakian M., Madvari R.F., Khoshakhlagh A.H., Halvani G.H., Investigating the Impact of Establishing Integrated Management Systems on Accidents and Safety Performance Indices: A case study, *Safety and Health at Work* (2018), doi: 10.1016/j.shaw.2018.04.001.
9. Tekhnologiya analiza dannyh. Metody otbora peremennyh v regressionnyye modeli. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/feature-selection> (data obrashcheniya: 15.10.2020). [In Russ].
10. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):85–94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–6-0–85–94.
11. Skopintseva O.V., Ganova S.D., Buzin A.A., Fedotova V.P. Measures to reduce dusting during loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 12, pp. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16. [In Russ].

12. Ganova S.D., Skopintseva O.V., Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. 2019, t. 330, no. 6, pp. 109–115. [In Russ].

13. Q. Liu, X. Meng, X. Li, X. Luo Q. Liu, X. Meng, X. Li, X. Luo. Risk precontrol continuum and risk gradient control in underground coal mining. Process Safety and Environmental Protection. 2019. Vol. 129. Pp. 210–219. DOI: 10.1016/j.psep.2019.06.03.

14. Kulikova E. Yu. Defects of urban underground structure and their prediction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 451(1), 012108. DOI: 10.1088/1757–899X/451/1/012108.

15. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962 042020. <https://doi.org/10.1088/1757–899X/962/4/042020>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шалимова Анастасия Валерьевна*¹ – ассистент кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: av.shalimova@misis.ru;

*Филин Александр Эдуардович*¹ – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность». e-mail: aleks_filin@bk.ru;

¹ НИТУ «МИСиС».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Shalimova A.V.*¹, assistant of Technosphere safety Department of NUST «MISiS», e-mail: av.shalimova@misis.ru;

*Filin A.E.*¹, Dr. Sci. (Eng.), professor of Technosphere safety Department of NUST «MISiS». E-mail: aleks_filin@bk.ru;

¹ NUST «MISiS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 04.12.2020; получена после рецензии 15.12.2020; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 04.12.2020; received after the review 15.12.2020; accepted for printing 01.02.2021.

