

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АЭРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

С.В. Баловцев
НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Интенсификация горного производства, его концентрация, усложнение горно-геологических условий разработки угольных месторождений, связанных с увеличением глубины ведения горных работ, вызывают необходимость создания эффективной многофункциональной системы безопасности (МФСБ) угольных шахт, важнейшим структурным элементом которой является аэрологическая безопасность. Оценка, управление и снижение аэрологических рисков на выемочных участках является составной частью аэрологической безопасности шахт и представляет собой актуальную научную проблему. Автором выполнен анализ условий ведения работ в угольных шахтах в настоящее время, приведены статистические данные по основным опасностям разрабатываемых шахтопластов, установлено, что доля шахтопластов, опасных по взрывчатости угольной пыли, составляет 91,3 %. Статистически установлено среднее значение абсолютной метанообильности по отрасли, равное 60,5 м³/мин (достигает 251 м³/мин), среднее значение относительной метанообильности по отрасли, равное 20,2 м³/т (достигает 108,35 м³/т). Установлено, что более чем на половине из 75 выемочных участков применяется комбинированная схема вентиляции (с управлением газовыделением за счет общешахтной депрессии, в том числе с применением газоотсасывающих установок), на 27 % выемочных участков применяется возвратноточная схема вентиляции и на 23 % выемочных участков применяют прямоточную схему вентиляции. Выполнена сравнительная оценка аэрологических рисков на выемочных участках, для чего рассчитывались показатели прогнозного значения аэрологических рисков для трех схем вентиляции: прямоточной, возвратноточной и комбинированной. Расчеты велись для шахт пяти категорий, разрабатывающих пласты с удельным пылевыведением от 250 до 1200 г/т для видов опасностей шахтопластов: склонных к самовозгоранию, склонных к горным ударам и склонных к совместному проявлению самовозгорания и горных ударов. Виды опасностей шахтопластов рассматривались для схем вентиляции без диагонального соединения и схем, включающих неустойчивое диагональное соединение. Были выполнены расчеты по снижению аэрологического риска за счет применения мероприятий системы управления газовыделением. Получен диапазон изменения значений аэрологического риска на выемочных участках, выполнено их сравнение.

Ключевые слова: аэрологическая безопасность, аэрологический риск аварий, уязвимость схемы вентиляции, проектирование вентиляции, самовозгорание пластов, горные удары, внезапные выбросы, прогнозирование рисков, управление газовыделением.

Для цитирования: Баловцев С.В. Сравнительная оценка аэрологических рисков на действующих угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 5–17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-5-17.

Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines

S.V. Balovtsev

NUST «MISiS», Moscow, Russia

Abstract: The intensification of mining production, its concentration, the complication of mining and geological conditions for the development of coal deposits associated with an increase in the depth of mining operations, necessitate the creation of an effective multifunctional safety system (MFSS) for coal mines, the most important structural element of which is aerological safety. Assessment, management and reduction of aerological risks in excavated areas is an integral part of the upper-air safety of mines and is an urgent scientific problem. The author analyzed the conditions of work in coal mines at the present time, provided statistical data on the main hazards of the mines being developed, it was found that the share of mine layers hazardous in terms of the explosiveness of coal dust is 91.3%. The average value of the absolute methane content in the industry was statistically established, equal to 60.5 m³ / min (reaches 251 m³ / min), the average value of the relative methane content in the industry, equal to 20.2 m³ / t (reaches 108.3 5 m³ / t). It was found that more than half of the 75 excavation areas use a combined ventilation scheme (with gas release control due to general depression, including the use of gas suction units), 27% of the excavation areas use a return-flow ventilation system and 23% of the excavation areas use a direct-flow ventilation ventilation scheme. A comparative assessment of upper-air risks in the excavation areas was carried out, for which the indicators of the predicted value of upper-air risks were calculated for three ventilation schemes: direct-flow, return-flow and combined. The calculations were carried out for mines of five categories, developing seams with a specific dust release from 250 to 1200 g / t for the types of hazards of mines: prone to spontaneous combustion, prone to rock bursts and prone to joint manifestation of spontaneous combustion and rock bursts. Mining hazards were considered for ventilation schemes without a diagonal connection and schemes that include an unstable diagonal connection. Calculations were made to reduce the aerological risk through the use of measures of the gas emission control system. The range of changes in the values of upper-air risk in the excavated areas was obtained, and their comparison was performed.

Key words: upper-air safety, upper-air risk of accidents, vulnerability of the ventilation scheme, ventilation design, spontaneous combustion of formations, rock bursts, sudden outbursts, risk prediction, gas emission control.

For citation: Balovtsev S.V. Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):5-17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-05-17.

Введение

В соответствии с «Программой развития угольной промышленности России на период до 2030 г.» в угольной отрасли нашей страны за последние 10 летнаблюдается положительная динамика ее развития: растут объемы добычи и поставок угля на внутреннем рынке РФ и на экспорт, вводятся новые центры угледобычи, обновляются производственные мощности. И хотя доля

в объеме угля, получаемого дорогостоящим и опасным способом, сокращается, угольная отрасль в России по-прежнему остается одной из самых опасных.

С одной стороны, объективными причинами такой опасности является проявление негативных природных факторов, сопутствующих подземной добыче угля. С другой стороны, рост глубины ведения горных работ, интенсификация и концентрация про-

изводственных процессов по добыче угля усугубляют и без того опасность проявления негативных факторов подземной угледобычи [1 – 5]. Кроме того, большинство опасных факторов имеют синергетический характер их проявления, т. е. действие одного фактора усиливает действие другого опасного фактора, что, например, для газа и угольной пыли проявляется в том, что даже незначительные концентрации метана снижают нижний предел взрываемости угольной пыли [6 – 8].

Все вышесказанное вызывает необходимость создания эффективной многофункциональной системы безопасности (МФСБ) угольных шахт, такой, чтобы структурные элементы такой системы имели синергетический характер предупреждения аварий и защиты угольной шахты в аварийных ситуациях. Для эффективного функционирования МФСБ необходим тщательный анализ горно-геологических и горнотехнических условий угледобычи, анализ и оценка риска аварий, а также оценка эффективности мероприятий по снижению риска аварий на угольных шахтах [2, 9 – 12].

Среди многих структурных элементов системы МФСБ первостепенное значение имеет аэрологическая безопасность как с точки зрения обеспечения жизнедеятельности горнорабочих, находящихся в шахте, так и с точки зрения безопасности самой шахты, поскольку аварии, возникающие в результате взрыва газа и пыли, эндогенных пожаров развиваются в считанные секунды, неконтролируемы, могут иметь катастрофические последствия и ликвидируются в течение больших периодов времени. В связи с этим роль и важность оценки и снижения аэрологических рисков угольных шахт [12] трудно переоценить, и очевидна необходимость развития данной стороны

аэрологической безопасности и совершенствования инструментов и механизмов применения оценки рисков на горных предприятиях.

Анализ условий ведения работ в шахтах

В настоящее время в России действуют 57 угольных шахт, объем добычи на которых подземным способом составил 108,3 млн т (статистическая информация организаций угольной промышленности по форме № 2-ТБ (уголь)). Годовая добыча угля наиболее производительных шахт составляет 8,5 млн т (ПЕ «Шахта им. В.Д. Явлевского» АО «Суэк-Кузбасс»), 6,5 млн т (ПЕ «Шахта им. А.Д. Рубана» АО «Суэк-Кузбасс»), 5,4 млн т (ПЕ «Шахта им. С.М. Кирова» АО «Суэк-Кузбасс»).

На 57 угольных шахтах разрабатывается 92 шахтопласта, характеризующихся проявлением опасных природных факторов, отмеченных в табл. 1. Из анализа данных этой таблицы следует, что все пласты являются опасными хотя бы по одному фактору, и большинство пластов опасны по двум и более факторам одновременно. Вызывает особую обеспокоенность то, что доля шахтопластов, опасных по взрывчатости угольной пыли, составляет 91,3 %, т. е. почти все шахтопласты опасны по взрывчатости угольной пыли.

Из действующих 57 угольных шахт (в том числе 5 шахт — негазовые) 21 шахта отнесена к сверхкатегорийным, 12 — к опасным по выбросам, 4 — к шахтам 3-й категории, что составляет 65 % от общего количества шахт (табл. 2), поэтому при анализе и оценке риска аварий в дальнейшем все расчеты будут вестись для этих 65 % шахт. Несмотря на высокую категоричность шахт, добыча угля на них составляет 75,4 млн т, что достигает 70 % всей добычи угля подземным способом.

Таблица 1

Распределение разрабатываемых шахтопластов по видам опасности в 2016–2018 гг.
Distribution of mined layers by hazard types in 2016–2018

Виды опасности	Количество шахтопластов (%)		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Опасные по взрывчатости пыли	95 (96,6 %)	94 (92,12 %)	84 (91,3 %)
Склонные к самовозгоранию	60 (58,8 %)	61 (62,2 %)	56 (60,9 %)
Склонные к горным ударам	38 (37,3 %)	32 (32,7 %)	29 (31,5 %)
Опасные и угрожаемые по внезапным выбросам	44 (43,1 %)	44 (44,9 %)	42 (45,7 %)
Всего	102	98	92

Таблица 2

Распределение газовых шахт по категориям газовой опасности в 2016–2018 гг. (негазовые шахты в таблице не учитываются)
Distribution of gas mines by gas hazard categories in 2016–2018 (non-gas mines are not included in the table)

Категории газовой опасности	Количество шахт (%)		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.
I категория	13 (22,8 %)	13 (24,1 %)	9 (17,3 %)
II категория	4 (7 %)	2 (3,7 %)	6 (11,5 %)
III категория	6 (10,5 %)	5 (9,3 %)	4 (7,7 %)
Сверхкатегорные	22 (38,6 %)	22 (40,7 %)	21 (40,4 %)
Опасные по внезапным выбросам угля (породы) и газа	12 (21,1 %)	12 (22,2 %)	12 (23,1 %)
Всего	57	54	52

Таблица 3

Распределение схем вентиляции выемочных участков в 2018 г.
Distribution of ventilation schemes of excavation areas in 2018

Схемы вентиляции	Количество	Значения аэрологического риска
Прямоточная схема вентиляции	17	0,0396/0,198÷0,2848/0,712*
Возвраточная схема вентиляции	20	0,1056/0,264÷0,4628/0,89
Комбинированная схема вентиляции	38	0,08262/0,5508÷0,2592/0,81
Всего	75	
Из них с управлением газовой выделением за счет общешахтной депрессии	29	0,0396/0,198÷0,4628/0,89
В том числе с применением газоотсасывающих установок	16	0,08748/0,5832÷0,3456/1

Примечание. *В числителе приведены значения риска, учитывающие полное разбавление вредностей, в знаменателе приведены значения риска, учитывающие последовательное разбавление вредностей.

Среднее значение абсолютной метанообильности по отрасли составило 60,5 м³/мин (достигая 251 м³/мин

в ПАО «Распадская»), среднее значение относительной метанообильности по отрасли равно 20,2 м³/т (достигая

108,35 м³/т в СП «Шахта Воркутинская» АО «Воркутауголь»).

На 57 работающих шахтах задействовано 75 выемочных участков. На более чем половине выемочных участков применяется комбинированная схема вентиляции (с управлением газовыделением за счет общешахтной депрессии, в том числе с применением газоотсасывающих установок), на 27 % выемочных участков применяется возвратноточная схема вентиляции и на 23 % выемочных участков применяют прямооточную схему вентиляции (табл. 3).

Таким образом, численность уязвимых схем вентиляции выемочных участков с точки зрения их загазирования составляет не более 30 %.

Результаты оценки аэрологических рисков

Автором разработана методика оценки аэрологического риска аварий на выемочных участках и в подготовительных выработках угольных шахт, основанная на количественной оценке совокупности опасных факторов и совокупности факторов уязвимости схем вентиляции [12]. Методика также позволяет устанавливать прогнозные значения аэрологического риска и риска загазирования (как одного из показателей аэрологического риска), учитывающего влияние аэродинамического старения выработок, частоту и интенсивность отказов, результаты аэрогазового контроля.

Расчет показателей прогнозного значения аэрологического риска (Q_{np}) на выемочном участке угольной шахты позволяет выявить опасные схемы вентиляции выемочных участков, применение которых в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях [12–15] влечет за собой аварийную ситуацию.

В табл. 4–7 приведены результаты расчета показателей прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты для трех схем вентиляции: прямооточной, возвратноточной и комбинированной. Расчеты велись для шахт всех пяти категорий, разрабатывающих пласты с удельным пылевыделением от 250 до 1200 г/т для шахтопластов: склонных к самовозгоранию, к горным ударам и к совместному проявлению самовозгорания и горных ударов.

Последние три вида опасностей шахтопластов рассматривались для схем вентиляции без диагонального соединения и схем, включающих неустойчивое диагональное соединение. Как для схем без диагоналей, так и для схем с диагоналями были выполнены расчеты по снижению аэрологического риска за счет применения мероприятий системы управления газовыделением. Диапазон изменения значений аэрологического риска представлен в табл. 3.

Анализ расчетных значений аэрологического риска показывает, что наименьшее значение риска аварий на выемочных участках с комбинированными схемами вентиляции, равное 0,2592, при применении схем вентиляции с прямооточным движением воздуха — 0,2848, при применении схем с возвратноточным движением воздуха — 0,4628 (в этом случае риск почти в 2 раза больше, чем при прямооточных и комбинированных схемах). Приведенные значения риска получены за счет применения мероприятий по управлению газовыделением, таких, как дегазация, газодренаж, газоотсасывающие установки. Но даже в этом случае значение аэрологического риска для возвратноточных схем близко к аварийной ситуации.

Представленные результаты научных исследований позволяют осуществлять прогнозирование аэрологических

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты (прямоточная схема вентиляции)
 Indicators of the predicted value of the upper-air risk at the excavation site of a coal mine (direct-flow ventilation scheme)

Относительная метанобильность, м ³ /г	Удельное пылевые-деление, г/г	Q _{пр} (склонные к самовозгоранию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при управлении газовыделением	Q _{пр} (склонные к самовозгоранию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при управлении газовыделением	Неустойчивое диагональное соединение	
										Диагональное соединение отсутствует	Диагональное соединение
до 5	250 – 400	0,0396	0,03816	0,04176	0,04176	0,1056	0,10176	0,11136	0,11136	0,11136	0,11136
		0,198	0,1908	0,2088	0,2088	0,264	0,2544	0,2784	0,2784	0,2784	0,2784
		0,0429	0,04134	0,04524	0,04524	0,1144	0,11024	0,12064	0,12064	0,12064	0,12064
от 5 до 10	700 – 1200	0,2145	0,2067	0,2262	0,2262	0,286	0,2756	0,3016	0,3016	0,3016	0,3016
		0,0462	0,04452	0,04872	0,04872	0,1232	0,11872	0,12992	0,12992	0,12992	0,12992
		0,231	0,2226	0,2436	0,2436	0,308	0,2968	0,3248	0,3248	0,3248	0,3248
от 10 до 15	более 1200	0,0495	0,0477	0,0522	0,0522	0,132	0,1272	0,1392	0,1392	0,1392	0,1392
		0,2475	0,2385	0,261	0,261	0,33	0,318	0,348	0,348	0,348	0,348
		0,0561	0,05406	0,05916	0,05916	0,1496	0,14416	0,15776	0,15776	0,15776	0,15776
от 10 до 15	250 – 400	0,2805	0,2703	0,2958	0,2958	0,374	0,3604	0,3944	0,3944	0,3944	0,3944
		0,0594	0,05724	0,06264	0,06264	0,1584	0,15264	0,16704	0,16704	0,16704	0,16704
		0,297	0,2862	0,3132	0,3132	0,396	0,3816	0,4176	0,4176	0,4176	0,4176
от 10 до 15	700 – 1200	0,0627	0,06042	0,06612	0,06612	0,1672	0,16112	0,17632	0,17632	0,17632	0,17632
		0,3135	0,3021	0,3306	0,3306	0,418	0,4028	0,4408	0,4408	0,4408	0,4408
		0,066	0,0636	0,0696	0,0696	0,176	0,1696	0,1856	0,1856	0,1856	0,1856
от 10 до 15	более 1200	0,33	0,318	0,348	0,348	0,44	0,424	0,464	0,464	0,464	0,464
		0,0891	0,08586	0,09396	0,09396	0,2376	0,22896	0,25056	0,25056	0,25056	0,25056
		0,4455	0,4293	0,4698	0,4698	0,594	0,5724	0,6264	0,6264	0,6264	0,6264
от 10 до 15	400 – 700	0,0924	0,08904	0,09744	0,09744	0,2464	0,23744	0,25984	0,25984	0,25984	0,25984
		0,462	0,4452	0,4872	0,4872	0,616	0,5936	0,6496	0,6496	0,6496	0,6496
		0,0957	0,09222	0,10092	0,10092	0,2552	0,24592	0,26912	0,26912	0,26912	0,26912
от 10 до 15	700 – 1200	0,4785	0,4611	0,5046	0,5046	0,638	0,6148	0,6728	0,6728	0,6728	0,6728
		0,099	0,0954	0,1044	0,1044	0,264	0,2544	0,2784	0,2784	0,2784	0,2784
		0,495	0,477	0,522	0,522	0,66	0,636	0,696	0,696	0,696	0,696

Окончание табл. 4

Относительная концентрация метана, мг/м ³	Удельное пылевидное деление, г/т	Q _{пр} (склонные к самовозгоранию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при управлении газовыделением	Q _{пр} (склонные к самовозгоранию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при управлении газовыделением	Неустойчивое диагональное соединение	
										Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр max} при управлении газовыделением
> 15, суфлярные выделения метана	250 – 400	0,1056 0,528	0,10176 0,5088	0,11136 0,5568	0,08544 0,4272	0,2816 0,704	0,27136 0,6784	0,29696 0,7424	0,22784 0,5696	0,27136 0,6784	0,29696 0,7424
	400 – 700	0,1089 0,5445	0,10494 0,5247	0,11484 0,5742	0,08811 0,44055	0,2904 0,726	0,27984 0,6996	0,30624 0,7656	0,23496 0,5874	0,27984 0,6996	0,30624 0,7656
	700 – 1200	0,1122 0,561	0,10812 0,5406	0,11832 0,5916	0,09078 0,4539	0,2992 0,748	0,28832 0,7208	0,31552 0,7888	0,24208 0,6052	0,28832 0,7208	0,31552 0,7888
наличие опасных внезапных выбросов угля и газа	более 1200	0,1155 0,5775	0,1113 0,5565	0,1218 0,609	0,09345 0,46725	0,308 0,77	0,2968 0,742	0,3248 0,812	0,2492 0,623	0,2968 0,742	0,3248 0,812
	250 – 400	0,1221 0,6105	0,11766 0,5883	0,12876 0,6438	0,09879 0,49395	0,3256 0,814	0,31376 0,7844	0,34336 0,8584	0,26344 0,6586	0,31376 0,7844	0,34336 0,8584
	400 – 700	0,1254 0,627	0,12084 0,6042	0,13224 0,6612	0,10146 0,5073	0,3344 0,836	0,32224 0,8056	0,35264 0,8816	0,27056 0,6764	0,32224 0,8056	0,35264 0,8816
угля и газа	700 – 1200	0,1287 0,6435	0,12402 0,6201	0,13572 0,6786	0,10413 0,52065	0,3432 0,858	0,33072 0,8268	0,36192 0,9048	0,27768 0,6942	0,33072 0,8268	0,36192 0,9048
	более 1200	0,132 0,66	0,1272 0,636	0,1392 0,696	0,1068 0,534	0,352 0,88	0,3392 0,848	0,3712 0,978	0,2848 0,712	0,3392 0,848	0,3712 0,978

Примечание: в числителе приведены значения риска, учитывающие полное разбавление вредностей, в знаменателе приведены значения риска, учитывающие последовательное разбавление вредностей.

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты (возвратноточная схема вентиляции)
 Indicators of the predicted value of the aerological risk at the excavation site of a coal mine (return flow ventilation scheme)

Относит. метано- обиль- ность, м ³ /т	Удельное пылевы- деление, г/т	Q _{спр} (склонные к самовоз- горанию)	Q _{спр} (склонные к горным ударам)	Q _{спр} (склонные к горным ударам, самовоз- горанию)	Q _{спр max} при управ- лении газовыде- лением	Q _{спр} (склонные к самовоз- горанию)	Q _{спр} (склонные к горным ударам)	Q _{спр} (склонные к горным ударам, самовоз- горанию)	Q _{спр max} при управ- лении газовыде- лением	Неустойчивое диагональное соединение	
										Диагональное соединение отсутствует	Диагональное соединение
до 5	250 – 400	0,1056	0,10176	0,11136	0,11136	0,15756	0,16536	0,18096	0,18096	0,18096	0,18096
		0,264	0,2544	0,2784	0,2784	0,33	0,318	0,348	0,348	0,348	0,348
	400 – 700	0,1144	0,11024	0,12064	0,12064	0,17069	0,17914	0,19604	0,19604	0,19604	0,19604
от 5 до 10	700 – 1200	0,286	0,2756	0,3016	0,3016	0,3575	0,3445	0,377	0,377	0,377	0,377
		0,1232	0,11872	0,12992	0,12992	0,18382	0,19292	0,21112	0,21112	0,21112	0,21112
	более 1200	0,308	0,2968	0,3248	0,3248	0,385	0,371	0,406	0,406	0,406	0,406
от 10 до 15	250 – 400	0,132	0,1272	0,1592	0,1592	0,19695	0,2067	0,2262	0,2262	0,2262	0,2262
		0,33	0,318	0,348	0,348	0,4125	0,3975	0,435	0,435	0,435	0,435
	400 – 700	0,1496	0,14416	0,15776	0,15776	0,22321	0,23426	0,25636	0,25636	0,25636	0,25636
от 10 до 15	700 – 1200	0,374	0,3604	0,3944	0,3944	0,4675	0,4505	0,493	0,493	0,493	0,493
		0,1584	0,15264	0,16704	0,16704	0,23654	0,24804	0,27144	0,27144	0,27144	0,27144
	более 1200	0,396	0,3816	0,4176	0,4176	0,495	0,477	0,522	0,522	0,522	0,522
от 10 до 15	250 – 400	0,1672	0,16112	0,17632	0,17632	0,24947	0,26182	0,28652	0,28652	0,28652	0,28652
		0,418	0,4028	0,4408	0,4408	0,5225	0,5035	0,551	0,551	0,551	0,551
	400 – 700	0,176	0,1696	0,1856	0,1856	0,2626	0,2756	0,3016	0,3016	0,3016	0,3016
от 10 до 15	700 – 1200	0,44	0,424	0,464	0,464	0,55	0,53	0,58	0,58	0,58	0,58
		0,2376	0,22896	0,25056	0,25056	0,35451	0,37206	0,40716	0,40716	0,40716	0,40716
	более 1200	0,594	0,5724	0,6264	0,6264	0,7425	0,7155	0,783	0,783	0,783	0,783
от 10 до 15	250 – 400	0,2464	0,23744	0,25984	0,25984	0,36764	0,38584	0,42224	0,42224	0,42224	0,42224
		0,616	0,5936	0,6496	0,6496	0,77	0,742	0,812	0,812	0,812	0,812
	400 – 700	0,2552	0,24592	0,26912	0,26912	0,38077	0,39962	0,43732	0,43732	0,43732	0,43732
от 10 до 15	700 – 1200	0,638	0,6148	0,6728	0,6728	0,7975	0,7685	0,841	0,841	0,841	0,841
		0,264	0,2544	0,2784	0,2784	0,3939	0,4134	0,4524	0,4524	0,4524	0,4524
	более 1200	0,66	0,636	0,696	0,696	0,825	0,795	0,87	0,87	0,87	0,87

Окончание табл. 5

Относит. метано- обиль- ность, м ³ /т	Удельное пылевы- деление, г/т	Q _{пр} (склонные к самовоз- горанию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовоз- горанию)	Q _{пр max} при управ- лении газовыде- лением	Q _{пр} (склонные к самовоз- горанию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовоз- горанию)	Q _{пр max} при управ- лении газовыде- лением	Неустойчивое диагональное соединение	
										Диагональное соединение отсутствует	Диагональное соединение
> 15, суфлярные выделения метана	250 – 400	<u>0,2816</u> 0,704	<u>0,27136</u> 0,6784	<u>0,29696</u> 0,7424	<u>0,22784</u> 0,5696	<u>0,42016</u> 0,88	<u>0,44096</u> 0,848	<u>0,48256</u> 0,928	<u>0,37024</u> 0,712		
	400 – 700	<u>0,2904</u> 0,726	<u>0,27984</u> 0,6996	<u>0,30624</u> 0,7656	<u>0,23496</u> 0,5874	<u>0,43329</u> 0,9075	<u>0,45474</u> 0,8745	<u>0,49764</u> 0,957	<u>0,38181</u> 0,73425		
	700 – 1200	<u>0,2992</u> 0,748	<u>0,28832</u> 0,7208	<u>0,31552</u> 0,7888	<u>0,24208</u> 0,6052	<u>0,44642</u> 0,935	<u>0,46852</u> 0,901	<u>0,51272</u> 0,986	<u>0,39338</u> 0,7565		
наличие опасности внезапных выбросов угля и газа	более 1200	<u>0,308</u> 0,77	<u>0,2968</u> 0,742	<u>0,3248</u> 0,812	<u>0,2492</u> 0,623	<u>0,45955</u> 0,9625	<u>0,4823</u> 0,9275	<u>0,5278</u> 1	<u>0,40495</u> 0,77875		
	250 – 400	<u>0,3256</u> 0,814	<u>0,31376</u> 0,7844	<u>0,34336</u> 0,8584	<u>0,26344</u> 0,6586	<u>0,48581</u> 1	<u>0,50986</u> 1	<u>0,55796</u> 1	<u>0,42809</u> 0,82325		
	400 – 700	<u>0,3344</u> 0,836	<u>0,32224</u> 0,8056	<u>0,35264</u> 0,8816	<u>0,27056</u> 0,6764	<u>0,49894</u> 1	<u>0,52364</u> 1	<u>0,57304</u> 1	<u>0,43966</u> 0,8455		
	700 – 1200	<u>0,3432</u> 0,858	<u>0,33072</u> 0,8268	<u>0,36192</u> 0,9048	<u>0,27768</u> 0,6942	<u>0,51207</u> 1	<u>0,53742</u> 1	<u>0,58812</u> 1	<u>0,45123</u> 0,86775		
	более 1200	<u>0,352</u> 0,88	<u>0,3392</u> 0,848	<u>0,3712</u> 0,928	<u>0,2848</u> 0,712	<u>0,5252</u> 1	<u>0,5512</u> 1	<u>0,6032</u> 1	<u>0,4628</u> 0,89		

Примечание: в числителе приведены значения риска, учитывающие полное разбавление вредностей, в знаменателе приведены значения риска, учитывающие последовательное разбавление вредностей.

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты (комбинированная схема вентиляции)
 Indicators of the predicted value of the upper-air risk at the excavation site of a coal mine (combined ventilation scheme)

Относит. метано-обильность, м ³ /т	Удельное пылевое-деление, г/т	Q _{пр} (склонные к самовозгоранию)	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при лении газовойде-лением	Q _{пр} (склонные к горным ударам)	Q _{пр} (склонные к горным ударам, самовозгоранию)	Q _{пр max} при лении газовойде-лением	
									Неустойчивое диагональное соединение
от 10 до 15	250 – 400	0,08262	0,07938	0,08748	0,06561	0,22032	0,21168	0,23328	0,17496
	400 – 700	0,5508	0,5292	0,5832	0,4374	0,6885	0,6615	0,729	0,54675
		0,08568	0,08232	0,09072	0,06804	0,22848	0,21952	0,24192	0,18144
700 – 1200	700 – 1200	0,5712	0,5488	0,6048	0,4536	0,714	0,686	0,756	0,567
		0,08874	0,08526	0,09596	0,07047	0,23664	0,22736	0,25056	0,18792
	более 1200	0,5916	0,5684	0,6264	0,4698	0,7395	0,7105	0,783	0,58725
> 15, суф-лярные выделе-ния метана	250 – 400	0,0918	0,0882	0,0972	0,0729	0,2448	0,2352	0,2592	0,1944
		0,612	0,518	0,648	0,486	0,765	0,735	0,81	0,6075
	400 – 700	0,09792	0,09408	0,10368	0,07776	0,26112	0,25088	0,27648	0,20736
700 – 1200	400 – 700	0,6528	0,6272	0,6912	0,5184	0,816	0,784	0,864	0,648
		0,10098	0,09702	0,10692	0,08019	0,26928	0,25872	0,28512	0,21384
	более 1200	0,6732	0,6468	0,7128	0,5346	0,8415	0,8085	0,891	0,66825
наличие опасности внезапных выбросов угля и газа	250 – 400	0,10404	0,09996	0,11016	0,08262	0,27744	0,26656	0,29376	0,22032
		0,6936	0,6664	0,7344	0,5508	0,867	0,833	0,918	0,6885
	400 – 700	0,1071	0,1029	0,1134	0,08505	0,2856	0,2744	0,3024	0,2268
700 – 1200	250 – 400	0,714	0,686	0,756	0,567	0,8925	0,8575	0,945	0,70875
		0,11322	0,10878	0,11988	0,08991	0,30192	0,29008	0,31968	0,23976
	более 1200	0,7548	0,7252	0,7992	0,5994	0,9435	0,9065	0,99	0,74925
более 1200	400 – 700	0,11628	0,11172	0,12312	0,09234	0,31008	0,29792	0,32832	0,24624
		0,7752	0,7448	0,8208	0,6156	0,969	0,931	1	0,7695
	700 – 1200	0,11934	0,11466	0,12636	0,09477	0,31824	0,30576	0,33696	0,25272
более 1200	более 1200	0,7956	0,7644	0,8424	0,6318	0,9945	0,9555	1	0,78975
		0,1224	0,1176	0,1296	0,0972	0,3264	0,3136	0,3456	0,2592
		0,816	0,784	0,864	0,648	1	0,98	1	0,81

Примечание: в числителе приведены значения риска, учитывающие полное разбавление вредностей, в знаменателе приведены значения риска, учитывающие последовательное разбавление вредностей.

рисков при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации шахт, а также обосновывать выбор и принятие решений по снижению аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт.

Выводы

1. Объем добычи подземным способом на 57 действующих угольных шахтах России составил 108,3 млн т. Годовая добыча угля наиболее производительных шахт составляет 8,5 млн т.

2. На угольных шахтах разрабатывается 92 шахтопласта. Все пласты являются опасными хотя бы по одному опасному фактору, и большинство из пластов опасны по двум и более факторам одновременно. Доля шахтопластов, опасных по врывчатости угольной пыли, составляет 91,3 %.

3. Среднее значение абсолютной метанообильности по отрасли составило 60,5 м³/мин (достигая 251 м³/мин в ПАО «Распадская»), среднее значение относительной метанообильности

по отрасли равно 20,2 м³/т (достигая 108,35 м³/т в СП «Шахта Воркутинская» АО «Воркутауголь»).

4. Более чем на половине из 75 выемочных участков применяется комбинированная схема вентиляции (с управлением газовойделением за счет общещатной депрессии, в том числе с применением газоотсасывающих установок), на 27 % выемочных участков применяется возвратноточная схема вентиляции и на 23 % выемочных участков применяют прямоточную схему вентиляции.

5. На основании проведенной сравнительной оценки аэрологического риска для действующих угольных шахт для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий можно сделать вывод, что наименьшее значение риска имеют комбинированные схемы вентиляции выемочных участков. При применении схемы с возвратноточным движением воздуха риск почти в 2 раза больше, чем для прямоточных и комбинированных схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Забурдяев В.С.* Газовая опасность в угольных шахтах: условия, причины, экспертиза безопасности // Безопасность труда в промышленности. — 2018. — № 11. — С. 15–18. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-15-18.

2. *Korshunov G.I., Rudakov M.L., Kabanov E.I.* The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines / Journal of Environmental Management and Tourism, 9(1), 2018, pp. 181–186. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v9.1\(25\).23](https://doi.org/10.14505/jemt.v9.1(25).23).

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. *Гришин В.Ю., Удалова Н.П., Маневич П.П.* Взаимодействие риск-ориентированного подхода и наилучших доступных технологий в системе экологического надзора при подземной разработке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 46–54. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-46-54.

5. *Kolikov K.S., Mazina I.E., Manevich A.I.* Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. Eurasian Mining. 2018, no 2, pp. 15–17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.

6. *Филин А.Э., Овчинникова Т.И., Зиновьева О.М., Меркулова А.М.* Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве // Горный журнал. — 2020. — № 3. — С. 67–71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.

7. Павленко М.В., Скопинцева О.В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 3. — С. 43–50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

8. 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.

9. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

10. Куликова Е.Ю., Виноградова О.В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146–154. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–7-0–146–154.

11. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687, 044035, doi:10.1088/1757–899X/687/4/044035, pp. 1–7.

12. Баловцев С.В. Разработка метода оценки и управления аэрологическим риском аварий на выемочных участках угольных шахт. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., 2013. — 149 с.

13. Batugin A.S. Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process. Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development – Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering. Ed. by S.A. B. da Fontoura, R.J. Rossa, J.P. Mendoza. CRC Press/Balkema, 2020. Vol. 6. pp. 1261–1268.

14. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. Solid Fuel Chemistry. 2015. Т. 49. No 6. Pp. 381–386.

15. Скопинцева О.В., Вертинский А.С., Иляхин С.В., Савельев Д.И., Прокопович А.Ю. Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 17–20. **МИАБ**

REFERENCES

1. Zaburdayev V.S. Gas Hazard in the Coal Mines: Conditions, Reasons, Safety Expertise. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2018, no. 11, pp. 15–18. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-15-18. [In Russ].

2. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Kabanov E.I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 9(1), 2018, pp. 181–186. DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v9.1\(25\).23](https://doi.org/10.14505//jemt.v9.1(25).23).

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. Grishin V. Yu., Udalova N.P., Manevich P.P. Interaction of risk-based approach and best available technologies in the environmental supervision system for underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6–1):46–54. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-46-54.

5. Kolikov K.S., Mazina I.E., Manevich A.I. Stress-strain analysis in coal and rock mass under traditional mining with full caving and in technology with backfilling. *Eurasian Mining*. 2018, no. 2, pp. 15–17. DOI: 10.17580/em.2018.02.04.

6. Filin A.E., Ovchinnikova T.I., Zinovieva O.M., Merkulova A.M. Advance of pulsating ventilation in mining. *Gornyi Zhurnal*, 2020, no. 3, pp. 67–71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13. [In Russ].

7. Pavlenko M.V., Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 3, pp. 43–50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50. [In Russ].

8. 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].

9. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201823901021>.

10. Kulikova E. Yu., Vinogradova O.V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):146–154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

11. Kulikova E. Yu. Assessment of operating environment of concrete lining of sewage collector tunnels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687, 044035, doi:10.1088/1757–899X/687/4/044035, pp. 1–7.

12. Balovtsev S.V. *Razrabotka metoda otsenki i upravleniya aerologicheskim riskom avariyn na vyyemochnykh uchastkakh ugol'nykh shakht. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni k.t.n.* [Development of a method for assessing and managing the aerological risk of accidents in coal mines. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. 2013, 149 p. [In Russ].

13. Batugin A.S. Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development – Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering*. Ed. by S.A. B. da Fontoura, R.J. Rossa, J.P. Mendoza. CRC Press/Balkema, 2020. Vol. 6. pp. 1261–1268.

14. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Solid Fuel Chemistry*. 2015. T. 49. no. 6. Pp. 381–386.

15. Skopintseva O.V., Vertinskiy A.S., Ilyakhin S.V., Savelev D.I., Prokopovich A. Yu., Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014, no. 5, pp. 17–20. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Баловцев Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент, НИТУ «МИСиС», e-mail: Balovcev@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Balovtsev S.V., Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, NUST «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: Balovcev@yandex.ru.

Получена редакцией 08.12.2020; получена после рецензии 18.01.2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 08.12.2020; received after the review 18.01.2021; accepted for printing 01.02.2021.

