

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫРАБОТОК НА АЭРОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

С.В. Баловцев¹, О.В. Скопинцева¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты оценки влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски в угольных шахтах. При бесцеликовых системах разработки в ряде случаев затрудняется доступ к лавам, увеличиваются аэрологические риски, в том числе риск загазирования выемочного участка. Аэродинамическое старение выработок приводит к росту удельного аэродинамического сопротивления. При повторном использовании выработок процессы аэродинамического старения в них будут усиливаться. Установлено, что при повторном использовании выработок значения риска загазирования выемочного участка составят: для U-образной схемы вентиляции – 0,2403 (в 1,27 раза больше исходного значения риска загазирования); для Z-образной схемы вентиляции – 0,155 (в 1,6 раза больше исходного значения риска загазирования); для Y-образной схемы вентиляции – 0,1244 (в 1,9 раз больше исходного значения риска загазирования). При проектировании работ с повторным использованием горных выработок помимо расчета прогнозных значений аэрологического риска, учитывающих совместную работу вентиляции, дегазации и газоотсоса, необходимо учитывать риск загазирования выемочного участка. В статье представлены результаты оценки аэрологического риска на проектируемых выемочных участках. Наибольший ущерб повторное использование выработок приносит для прямоточных схем проветривания с разбавлением вредностей по источникам поступления их в воздушную струю и с подсыжением исходящей струи.

Ключевые слова: аэрологический риск, аэродинамическое старение, надежность шахтных вентиляционных систем, интенсивность отказов, аэродинамическое сопротивление выработок, показатель прогнозного значения аэрологического риска, риск загазирования, повторно используемые выработки.

Для цитирования: Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Оценка влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 40–53. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-40-53.

Assessment of the influence of returned mines on aerological risks at coal mines

S.V. Balovtsev¹, O.V. Skopintseva¹

¹ NUST "MISIS", Moscow, Russia

Abstract: The results of assessing the impact of reused workings on aerological risks in coal mines are presented. With aimless development systems, in some cases access to longwalls becomes difficult, aerological risks increase, including the risk of gas contamination of the mining area. Aerodynamic aging of workings leads to an increase in specific aerodynamic resistance. With the reuse of workings, the processes of aerodynamic aging in them will intensify. It has been established that when re-using workings, the risk of gas contamination of the excavation area will be: for a U-shaped ventilation scheme – 0.2403 (1.27 times more than the initial value of the gas risk); for a Z-shaped ventilation scheme – 0.155 (1.6 times the initial value of the risk of gas pollution); for the Y-shaped ventilation scheme – 0.1244 (1.9 times the initial value of the risk of gas pollution). When designing works with reuse of mine workings, in addition to calculating the predicted values of aerological risk, taking into account the joint operation of ventilation, degassing and gas suction, it is necessary to take into account the risk of gas contamination of the excavation area. The article presents the results of the assessment of the aerological risk in the designed excavation areas. The greatest damage is caused by the reuse of workings for direct-flow ventilation schemes with dilution of hazards according to the sources of their entry into the air stream and with freshening of the outgoing stream.

Key words: aerological risk, aerodynamic aging, reliability of mine ventilation systems, failure rate, aerodynamic resistance of workings, indicator of the predicted value of aerological risk, risk of gas pollution, reused workings.

For citation: Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Assessment of the influence of returned mines on aerological risks at coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):40–53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-40-53.

Введение

Суть повторного использования выработок состоит в том, что в процессе отработки выемочного столба вентиляционным штреком служит бывший конвейерный штрек. Вентиляционный штрек погашается путем извлечения крепи в тупиковой его части. Конвейерный штрек за лавой поддерживается для повторного использования, а также для подсыхания исходящей струи воздуха.

Повторное использование выемочных выработок возможно при различных системах разработки, однако от системы разработки зависит характер и интенсивность смещений пород, технологичность и возможность производства работ по поддержанию выработок [1]. Эффективность повторного использования выработок зависит от мощности пласта, устойчивости пород, глубины разработки, обводненности пластов, склонности

к самовозгоранию, способа охраны выработок.

Повторное использование выработок при отработке лав по восстанью (падению) является более эффективным, чем при отработке по простиранию, т. к. при этом не нужно проходить и поддерживать дополнительные фланговые выработки [1].

Авторами было установлено, что при проведении выработок по пласту наиболее эффективным способом охраны является «целик-целик». Для участков выработок, пройденных по пласту, средняя скорость увеличения их удельного сопротивления изменяется от 0,0040 до 0,0061 Н·с²/м³·год. За 4–9 лет существования участков выработок степень увеличения удельных сопротивлений достигает 7–8 раз. Для капитальных выработок, пройденных по пласту, при способе охраны «целик-целик» средняя скорость увеличения их удельного сопротивления

составляет $0,0007 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^9 \cdot \text{год}$, что от 5,7 до 8,7 раз меньше по сравнению с аналогичными значениями для участков выработок. Это различие можно объяснить рядом технико-технологических мероприятий, проводимых для обеспечения эксплуатационного состояния выработок.

В частности, для обеспечения эксплуатационного состояния выемочных выработок осуществляются мероприятия:

- совершенствование крепей в выработках [2, 3];

- применение крепей усиления в выработках на участках активных проявлений горного давления вблизи лав и различных искусственных ограждений у выработок со стороны выработанного пространства;

- снижение нагрузок массивов пород на краевые части пластов (разупрочнение и разгрузка пород);

- упрочнение вмещающих пород анкерами и скрепляющими растворами.

С ростом глубины горных работ снижается удельный вес системы разработки длинными столбами с повторным использованием выработок. При бесцеликовых системах разработки не во всех случаях достигнуто надежное обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок, остается высоким уровень ремонтных работ. В ряде случаев затрудняется доступ к лавам, ухудшается их вентиляция, увеличиваются аэрологические риски, в том числе риск загазирования выемочного участка, не обеспечивается аэрологическая безопасность, безопасность ведения горных работ [4–8], как следствие, снижается добыча угля из очистных забоев, которые оборудованы высокопроизводительными механизированными комплексами [9–11].

При выемке тонких и средней мощности пластов длинными столбами

по простиранию бесцеликовые схемы подготовки и отработки выемочных участков с повторным использованием горных выработок применяются в основном в двух вариантах, отличающихся реализуемой схемой проветривания: прямоточная с разбавлением вредностей по источникам поступления их в воздушную струю и с подсвеживанием исходящей струи и обычная возвратноточная схема без подсвеживания, которая характеризуется большой степенью уязвимости схемы проветривания выемочного участка, большой степенью аэрологического риска при отработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях.

В зависимости от угла падения пласта и вида подрывки пород система разработки предусматривает различные виды штрековой крепи и технологические схемы сопряжений лав со штреками. Вопросам охраны повторно используемых выработок в сложных горно-геологических условиях и вопросам обеспечения аэрологической безопасности на выемочном участке, рискам травмирования горнорабочих при взрывах метанопылевоздушных смесей посвящены работы [1, 2, 12–15].

Оценка аэрологического риска по результатам аэрогазового контроля шахтной атмосферы

Аналогично аэродинамическому старению повторно используемые выработки также увеличивают интенсивность отказов, в ряде случаев затрудняется доступ к лавам, ухудшается их вентиляция, что приводит к увеличению риска загазований выработок на выемочном участке.

При повторном использовании выработок принимаются схемы проветривания прямоточные с разбавлением вредностей по источникам поступления

ния их в воздушную струю и с подсвечиванием исходящей струи или возвратноточные без подсвечивания, которые характеризуются большой степенью уязвимости схемы проветривания выемочного участка. При проведении оценки аэрологических рисков необходимо также оценивать влияние повторно используемых выработок на риск загазования.

Риск загазования, учитывающий влияние аэродинамического старения выработок, частоту и интенсивность отказов [16 – 18], базируется на результатах аэрогазового контроля.

Для возвратноточной схемы проветривания выемочного участка с последовательным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении массива (U-образная схема) угля риск загазования $R_{\text{заг.уч}}$ рассчитывается по формуле

$$R_{\text{заг.уч}} = 1 - P_{\text{отк.ш}} \cdot P_{\text{лавы}} \cdot P_{\text{вчл}} \cdot P_{\text{вент.ш}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{отк.ш}}$ — вероятность безотказной работы откаточного штрека; $P_{\text{лавы}}$ — лавы; $P_{\text{вент.ш}}$ — вентиляционного штрека; $P_{\text{вчл}}$ — верхней части лавы.

При прямоточной схеме вентиляции выемочного участка с последовательным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении выработочного пространства (Z-образная схема) риск загазования участка $R_{\text{заг.уч}}$ рассчитывается по формуле

$$R_{\text{заг.уч}} = 1 - P_{\text{отк.ш}} \cdot P_{\text{лавы}} \cdot P_{\text{вент.ш}} \cdot (2)$$

Для прямоточной схемы вентиляции выемочного участка с обособленным разбавлением вредностей и отводом исходящей струи в направлении выработочного пространства (Y-образная схема) риск загазования $R_{\text{заг.уч}}$ рассчитывается по формуле

$$R_{\text{заг.уч}} = 1 - (P_{\text{отк.ш}} \cdot P_{\text{лавы}} + P_{\text{подсв}} - P_{\text{отк.ш}} \cdot P_{\text{лавы}} \cdot P_{\text{подсв}}) \cdot P_{\text{вент.ш}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{подсв}}$ — вероятность безотказной работы дополнительной выработки со свежей струей воздуха.

Расчетные значения $R_{\text{заг.уч}}$ составили: для U-образной схемы вентиляции — 0,189; для Z-образной схемы вентиляции — 0,097; для Y-образной схемы вентиляции — 0,065. Y-образная схема вентиляции в 2,9 раз надежнее U-образной схемы вентиляции.

Ранее было отмечено, что аэродинамическое старение выработок приводит к росту удельного аэродинамического сопротивления. Следовательно, при повторном использовании выработок процессы аэродинамического старения в них будут усиливаться. Даже при хорошем поддержании откаточного штрека процессы аэродинамического старения все равно приводят к росту удельного аэродинамического сопротивления в два раза. При использовании откаточного штрека вторично в качестве вентиляционного характер проявления старения будет соответствовать старению вентиляционных штреков, для которых удельное сопротивление может увеличиться до 8 раз и в отношении повторно используемой выработки (потенциально «постаревшей») рост удельных сопротивлений может быть еще больше.

Если условно предположить, что 8-кратное увеличение удельного аэродинамического сопротивления вентиляционного штрека приводит к увеличению интенсивности отказов этого штрека в два раза, то значения риска загазования выемочного участка составят: для U-образной схемы вентиляции — 0,2403 (в 1,27 раза больше исходного значения риска загазования); для Z-образной схемы вентиляции — 0,155 (в 1,6 раза больше исходного значения риска загазования); для Y-образной схемы вентиляции — 0,1244 (в 1,9 раза больше исходного значения риска загазования).

При принятии проектных, технических решений помимо оценки риска загазирования необходима оценка прогнозного значения аэрологического риска $Q_{пр}$. Показатель $Q_{пр}$, позволяющий определить граничные условия применения схем вентиляции выемочных участков при проектировании совместной работы вентиляции, дегазации и газоотсоса для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий [19–24]. В табл. 1–3 представлены показатели $Q_{пр}$ для схем вентиляции выемочных участков, которые принимаются при повторном использовании выработок, при обработке пластов, склонных к самовозгоранию и горным ударам.

Из анализа данных табл. 1 следует, что диапазон прогнозного значения аэрологического риска при прямооточной схеме движения воздуха с полным разбавлением вредностей составляет от 0,05103 (для самых лучших условий) до 0,1296 (для самых худших условий). Эти значения соответствуют малой степени аэрологического риска и нормальному уровню безопасности ведения горных работ.

Горнотехнические условия, представленные в табл. 2, характеризуются диапазоном прогнозного значения аэрологического риска от 0,25515 (для самых лучших условий) до 0,648 (для самых худших условий), что указывает на аварийную ситуацию при ведении горных работ.

Горнотехнические условия, представленные в табл. 3, характеризуются диапазоном прогнозного значения аэрологического риска от 0,3402 (для самых лучших условий) до 0,864 (для самых худших условий), что указывает на аварийную ситуацию при ведении горных работ и требует незамедлительных технических решений по снижению степени аэрологического риска.

Пример оценки аэрологического риска на проектируемых выемочных участках угольных шахт

Приведем пример оценки аэрологического риска на проектируемых выемочных участках для конкретных горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольного пласта. Прогнозные значения аэрологического риска учитывают принимаемые проектные решения по управлению газовыделением.

«Шахта Воргашорская» отнесена к сверхкатегорной по метану, относительная газообильность составила 22,66 м³/т. Разрабатываемый пласт отнесен как угрожаемый по горным ударам с абсолютной отметки –350 м и ниже. Критической глубиной, ниже которой пласт считается опасным или требует текущего прогноза появления внезапных выбросов угля и газа, является –400 м. Прогнозное удельное пылевыведение составляет 8702 г/т.

Проветривание выемочных участков юго-западного блока предусматривается по возвратноточной схеме (схема 1М-Н-в-вт). Свежий воздух в шахту для проветривания выемочного участка 141-ю и четырех подготовительных забоев, находящихся в юго-западном блоке шахты, подается по вспомогательному клетьевому стволу №1, вспомогательному клетьевому стволу №2. Далее свежий воздух следует по южному откаточному штреку гор. –140 м, южному конвейерному штреку гор. –140 м, рельсовому бремсбергу 52-ю, конвейерному бремсбергу 52-ю, конвейерному бремсбергу 41-ю, вентиляционному бремсбергу 41-ю, далее свежий воздух поступает к вентиляторам местного проветривания и в выработки выемочного участка. Исходящая струя воздуха с выемочного участка 141-ю

Таблица 1

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты при отработке пластов, склонных к самовозгоранию и горным ударам (прямочная схема движения воздуха с полным разбавлением вредных веществ)
 Indicators of the predicted value of the upper-air risk at the excavation site of a coal mine during the development of seams prone to spontaneous combustion and rock bursts (direct-flow air flow pattern with complete dilution of hazards)

Относительная метанообильность, м ³ /т	Удельное пылевыведение, г/т	Q _{гпр} (дегазация)	Q _{гпр} (ГОУ*)	Q _{гпр} (газодренажная выработка)	Q _{гпр} (дегазация + газодренажная выработка)	Q _{гпр} + газодренажная выработка	Q _{гпр} (дегазация + газодренажная выработка)
от 10 до 15	до 50	0,06363	0,06804	0,06552	0,05859	0,06048	0,05103
	50 – 100	0,06969	0,07452	0,07176	0,06417	0,06624	0,05589
> 15, сульфидные выделения метана	100 – 150	0,07575	0,081	0,078	0,06975	0,072	0,06075
	150 – 250	0,07878	0,08424	0,08112	0,07254	0,07488	0,06318
	250 – 400	0,08181	0,08748	0,08424	0,07533	0,07209	0,06561
	400 – 700	0,08484	0,09072	0,08736	0,07812	0,07476	0,06804
	700 – 1200	0,08787	0,09396	0,09048	0,08091	0,07743	0,07047
	более 1200	0,0909	0,0972	0,0936	0,0837	0,0801	0,0729
наличие опасности внезапных выбросов угля и газа	до 50	0,07878	0,08424	0,08112	0,07254	0,07488	0,06318
	50 – 100	0,08484	0,09072	0,08736	0,07812	0,08064	0,06804
	100 – 150	0,0909	0,0972	0,0936	0,0837	0,0864	0,0729
	150 – 250	0,09393	0,10044	0,09672	0,08649	0,08928	0,07533
	250 – 400	0,09696	0,10368	0,09984	0,08928	0,09216	0,07776
	400 – 700	0,09999	0,10692	0,10296	0,09207	0,09504	0,08019
	700 – 1200	0,10302	0,11016	0,10608	0,09486	0,09078	0,08262
	более 1200	0,10605	0,1134	0,1092	0,09765	0,09345	0,08505
	до 50	0,09393	0,10044	0,09672	0,08649	0,08277	0,07533
	50 – 100	0,09999	0,10692	0,10296	0,09207	0,08811	0,08019
100 – 150	0,10605	0,1134	0,1092	0,09765	0,09345	0,08505	
150 – 250	0,10908	0,11664	0,11232	0,10044	0,09612	0,08748	
250 – 400	0,11211	0,11988	0,11544	0,10323	0,09879	0,08991	
400 – 700	0,11514	0,12312	0,11856	0,10602	0,10146	0,09234	
700 – 1200	0,11817	0,12636	0,12168	0,10881	0,10413	0,09477	
более 1200	0,1212	0,1296	0,1248	0,1116	0,1068	0,0972	

Примечание: * Газоотсасывающая установка.

Таблица 2

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты при отработке пластов, склонных к самовозгоранию и горным ударам (прямоточная схема движения воздуха с последовательным разбавлением вредностей)
 Indicators of the predicted value of the upper-air risk at the excavation site of a coal mine during the development of seams prone to spontaneous combustion and rock bursts (direct-flow air movement with sequential dilution of hazards)

Относительная метанобильность, м ³ /т	Удельное пылевыведение, г/т	Q _{пр} (дегазация)	Q _{пр} (ГОУ)	Q _{пр} (газдренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ)	Q _{пр} (дегазация + газдренаж. выаб.)	Q _{пр} (ГОУ + газдренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ + газдренаж. выаб.)
от 10 до 15	до 50	0,31815	0,3402	0,3276	0,29295	0,28035	0,3024	0,25515
	50 – 100	0,34845	0,3726	0,3588	0,32085	0,30705	0,3312	0,27945
	100 – 150	0,37875	0,405	0,39	0,34875	0,33375	0,36	0,30375
	150 – 250	0,3939	0,4212	0,4056	0,3627	0,3471	0,3744	0,3159
	250 – 400	0,40905	0,4374	0,4212	0,37665	0,36045	0,3888	0,32805
	400 – 700	0,4242	0,4536	0,4368	0,3906	0,3738	0,4032	0,3402
	700 – 1200	0,43935	0,4698	0,4524	0,40455	0,38715	0,4176	0,35235
	более 1200	0,4545	0,486	0,468	0,4185	0,4005	0,432	0,3645
> 15, суфлярные выделения метана	до 50	0,3939	0,4212	0,4056	0,3627	0,3471	0,3744	0,3159
	50 – 100	0,4242	0,4536	0,4368	0,3906	0,3738	0,4032	0,3402
	100 – 150	0,4545	0,486	0,468	0,4185	0,4005	0,432	0,3645
	150 – 250	0,46965	0,5022	0,4836	0,43245	0,41385	0,4464	0,37665
	250 – 400	0,4848	0,5184	0,4992	0,4464	0,4272	0,4608	0,3888
	400 – 700	0,49995	0,5346	0,5148	0,46035	0,44055	0,4752	0,40095
	700 – 1200	0,5151	0,5508	0,5304	0,4743	0,4539	0,4896	0,4131
	более 1200	0,53025	0,567	0,546	0,48825	0,46725	0,504	0,42525
наличие опасности внезапных выбросов угля и газа	до 50	0,46965	0,5022	0,4836	0,43245	0,41385	0,4464	0,37665
	50 – 100	0,49995	0,5346	0,5148	0,46035	0,44055	0,4752	0,40095
	100 – 150	0,53025	0,567	0,546	0,48825	0,46725	0,504	0,42525
	150 – 250	0,5454	0,5832	0,5616	0,5022	0,4806	0,5184	0,4374
	250 – 400	0,56055	0,5994	0,5772	0,51615	0,49395	0,5328	0,44955
	400 – 700	0,5757	0,6156	0,5928	0,5301	0,5075	0,5472	0,4617
	700 – 1200	0,59085	0,6318	0,6084	0,54405	0,52065	0,5616	0,47385
	более 1200	0,606	0,648	0,624	0,558	0,534	0,576	0,486

Таблица 3

Показатели прогнозного значения аэрологического риска на выемочном участке угольной шахты при отработке пластов, склонных к самовозгоранию и горным ударам (возвратноточная схема движения воздуха с последовательным разбавлением вредностей)
 Indicators of the predicted value of the upper-air risk at the extraction area of a coal mine during the development of seams prone to spontaneous combustion and rock bursts (return flow pattern of air movement with sequential dilution of hazards)

Относи- тельная метаноо- бильность, м ³ /т	Удельное пылевыеде- ление, г/т	Q _{пр} (дегазация)	Q _{пр} (ГОУ)	Q _{пр} (газодренаж. выраб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ)	Q _{пр} (дегазация + газодренаж. выраб.)	Q _{пр} + (ГОУ + газодренаж. выраб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ + газодренаж. выраб.)
от 10	до 50	0,4242	0,4536	0,4368	0,3906	0,3738	0,4032	0,3402
до 15	50 — 100	0,4646	0,4968	0,4784	0,4278	0,4094	0,4416	0,3726
	100 — 150	0,505	0,54	0,52	0,465	0,445	0,48	0,405
	150 — 250	0,5252	0,5616	0,5408	0,4836	0,4628	0,4992	0,4212
	250 — 400	0,5454	0,5832	0,5616	0,5022	0,4806	0,5184	0,4374
	400 — 700	0,5656	0,6048	0,5824	0,5208	0,4984	0,5376	0,4536
	700 — 1200	0,5858	0,6264	0,6032	0,5394	0,5162	0,5568	0,4698
	более 1200	0,606	0,648	0,624	0,558	0,534	0,576	0,486
> 15,	до 50	0,5252	0,5616	0,5408	0,4836	0,4628	0,4992	0,4212
суфляр- ные вы- деления метана	50 — 100	0,5656	0,6048	0,5824	0,5208	0,4984	0,5376	0,4536
	100 — 150	0,606	0,648	0,624	0,558	0,534	0,576	0,486
	150 — 250	0,6262	0,6696	0,6448	0,5766	0,5518	0,5952	0,5022
	250 — 400	0,6464	0,6912	0,6656	0,5952	0,5696	0,6144	0,5184
	400 — 700	0,6666	0,7128	0,6864	0,6138	0,5874	0,6336	0,5346
	700 — 1200	0,6868	0,7344	0,7072	0,6324	0,6052	0,6528	0,5508
	более 1200	0,707	0,756	0,728	0,651	0,623	0,672	0,567

Относительная метанообильность, м ³ /т	Удельное пылевыведение, г/т	Q _{пр} (дегазация)	Q _{пр} (ГОУ)	Q _{пр} (газодренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ)	Q _{пр} (дегазация + газодренаж. выаб.)	Q _{пр} (ГОУ + газодренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ + газодренаж. выаб.)
наличие	до 50	0,6262	0,6696	0,6448	0,5766	0,5518	0,5952	0,5022
опасности внезапных	50 — 100	0,6666	0,7128	0,6864	0,6138	0,5874	0,6336	0,5346
запных	100 — 150	0,707	0,756	0,728	0,651	0,623	0,672	0,567
выбросов	150 — 250	0,7272	0,7776	0,7488	0,6696	0,6408	0,6912	0,5832
угля	250 — 400	0,7474	0,7992	0,7696	0,6882	0,6586	0,7104	0,5994
и газа	400 — 700	0,7676	0,8208	0,7904	0,7068	0,6764	0,7296	0,6156
	700 — 1200	0,7878	0,8424	0,8112	0,7254	0,6942	0,7488	0,6318
	более 1200	0,808	0,864	0,832	0,744	0,712	0,768	0,648

Таблица 4

Результаты оценки аэрологического риска на проектируемых выемочных участках

Results of the aerological risk assessment at the designed excavation areas

R _a	Q _{пр} (горные удары)	Q _{пр} (дегазация)	Q _{пр} (газо- дренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ)	Q _{пр} (дегазация + газо- дренаж. выаб.)	Q _{пр} (ГОУ + газо- дренаж. выаб.)	Q _{пр} (дегазация + ГОУ + газодренаж. выаб.)	R _{заг.уч.} при повторном использовании выработки, сут ⁻¹	R _{заг.уч.} при повторном использовании выработки, сут ⁻¹
0,7	0,742	0,637	0,686	0,658	0,581	0,553	0,497	0,189	0,2403
0,8	0,848	0,728	0,784	0,752	0,664	0,632	0,568	0,189	0,2403
0,105	0,1113	Относительная метанообильность > 15 м ³ /т; схема проветривания выемочного участка 1М-Н-в-вт							
0,12	0,1272	Наличие опасности внезапных выбросов угля и газа; схема проветривания выемочного участка 1М-Н-в-вт							
		Относительная метанообильность > 15 м ³ /т; схема проветривания выемочного участка 3-В-Н-в-пт							
		Наличие аэрологического риска аварии — малая (нормальный уровень безопасности) 0,065 0,1244							
		Наличие опасности внезапных выбросов угля и газа; схема проветривания выемочного участка 3-В-Н-в-пт							
		Наличие аэрологического риска аварии — малая (нормальный уровень безопасности) 0,065 0,1244							

выдается по конвейерному штреку 141-ю, конвейерному уклону 41-ю, магистральному вентиляционному штреку 41-ю, квершлагу 31-ю, конвейерному бремсбергу 31-ю, южному откаточному штреку гор. +20 м, вентиляционному шурфу №3 на поверхность.

Свежий воздух в шахту для проветривания выемочного участка 262-с и трех подготовительных забоев, находящихся в северном блоке, поступает по вспомогательному клетьевому стволу №1, вспомогательному клетьевому стволу №2. Свежая струя воздуха для обособленного проветривания выемочного участка 262-с поступает по вентиляционному бремсбергу 233-с в лаву 133-с. Исходящая струя воздуха отводится по вентиляционному штреку 62-с, северному откаточному штреку гор.+20 м, вентиляционному шурфу №4 на поверхность.

Результаты оценки аэрологического риска на проектируемых выемочных участках представлены в табл. 4.

Исходя из результатов оценки можно сделать вывод, что работа выемочных участков юго-западного блока недопустима (аварийная ситуация). Несмотря на то, что дегазация при отработке выемочных участков 141-ю, 262-с не предусматривается, в табл. 4 представлены прогнозные значения риска для возможных вариантов управления газовой выделением. Принимая во внимание средний коэффициент эффективности дегазации за последние 5 лет, при расчете риска коэффициент эффективности дегазации принят равным 0,6. Применение схемы проветривания 1М-Н-в-вт возможно только при использовании газоотсасывающих установок, наличии газодренажных выработок, применении эффективной дегазации, а также при отсутствии внезапных выбросов угля и газа.

Для проветривания выемочных участков северного блока применяется прямоточная схема проветривания с полным разбавлением вредностей по источникам их выделения и выпуском исходящей струи в выработанное пространство (З-В-Н-в-пт). Исходя из результатов оценки при принятой схеме проветривания выемочных участков северного блока степень аэрологического риска соответствует нормальному уровню безопасности (даже при увеличении глубины разработки).

При проектировании вентиляции выемочных участков, принятии организационных и технических решений необходимо учитывать приведенные значения риска загазования, результаты оценки влияния повторно используемых выработок на риск загазования, прогнозные значения аэрологического риска.

Заключение

При проектировании работ с повторным использованием горных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, необходимо учитывать изменения во времени относительного удельного аэродинамического сопротивления выработок, а также влияние на воздухораспределение на выемочном участке. Помимо расчета прогнозных значений аэрологического риска при проектировании совместной работы вентиляции, дегазации и газоотсоса необходимо учитывать риск загазования выемочного участка.

Несмотря на прогнозные значения аэрологического риска, расчеты показывают, что наибольший ущерб повторное использование выработок приносит для прямоточных схем проветривания с разбавлением вредностей по источникам поступления их в воздушную струю и с подсвеживанием исходящей струи (У-образных схем). Надежность

таких схем проветривания при повторном использовании выработок уменьшается почти в два раза, что вызывает

большие сомнения в целесообразности повторного использования выработок при Y-образной схеме проветривания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худин Ю.Л., Устинов М.И., Брайцев А.В. и др. Бесцеликовая отработка пластов. — М.: Недра, 1983. — 280 с.
2. Соломойченко Д.А. Обоснование устойчивости повторно используемых подготовительных выработок при разработке пологозалегающих пластов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2015.
3. 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.
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181460201>.
9. Wu Renlun, Wang Yafei, Xu Dongliang, et al. Effects of working face width on the scope of the “three zones” of gas pressure relief and migration in coal seam group mining. Journal of Mining & Safety Engineering. 2017, vol. 34, no. 1, pp. 192 – 198.
10. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Решетняк С.Н. Повышение уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты // Горный журнал. — 2019. — №4 — С. 85 – 89. ISSN 0017 – 2278.
11. Petrov V., Sadridinov A., Pichuev A. Analysis and Modeling of Power Consumption Modes of Tunnelling Complexes in Coal Mines. E3S Web of Conferences, 174, 01006 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401006>.
12. Нефедов А.П. Одновременная структура сближенных газоносных пологих пластов угля средней мощности с сохранением за лавами вентиляционных повторно используемых выработок. Автореферат диссертации соискание ученой степени кандидата технических наук, 1994.
13. Ардашев К.А., Рева В.Н., Розенбаум М.А. Способ отработки угольных пластов. Патент на изобретение RUS 2164293 26.05.1998.
14. Штумпф Г.Г., Ануфриев В.Е., Стрыгин Б.И. Способ охраны повторно используемых горных выработок. Патент на изобретение RUS 2013546.
15. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. Journal

of Applied Science and Engineering. 2020, Vol. 24, no 1, pp. 105 – 110. [http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24\(1\).0014](http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24(1).0014).

16. Рудничная вентиляция: Справочник. Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра. – 1988. – 440 с.

17. Michael J. Landry. The coset construction for non-equilibrium systems. High Energy Physics – Theory. Submitted on 27 Dec 2019, p. 35. <https://arxiv.org/abs/1912.12301>.

18. M. Baggioli and M.J. Landry. Effective field theory for quasicrystals and phason dynamics [arXiv:2008.05339 [hep-th]].


19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Куликова А.А., Сергеева Ю.А., Овчинникова Т.И., Хабарова Е.И. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 135 – 145. DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020.

23. Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli. The evolution of thick coal seams mining methods in China / E3S Web of Conferences 192, 01023 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201023>.

24. Yutyaev E.P., Mazanik E.V., Slastunov S.V., Batugin A.S. (2019) Methodology for the Selection of In-Seam Gas Drainage System for Intensive and Safe Coal Mining. IVth International Innovative Mining Symposium, E3S Web of Conferences 105, 01032. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501032>. 

REFERENCES

1. Khudin Yu. L., Ustinov M.I., Braitsev A.V. et al. *Bestselikovaya otrabotka plastov* [Cellic mining of seams]. Nedra, 1983, p. 280. [In Russ].

2. Solomoychenko D.A. *Obosnovaniye ustoychivosti povtorno. ispol'zuyemykh podgotovitel'nykh vyrabotok pri razrabotke pologozalegayushchikh plastov. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Justification of the stability of reused development workings in the development of flat seams. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences], 2015. [In Russ].

3. 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.

4. 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).

5. 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.

6. 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.

7. 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.
8. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas – defects of surrounding buildings at various stages of construction. // *MATEC Web Conf.* Vol.146, 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181460201>.
9. Kopylov K.N., Kubrin S.S., Reshetnyak S.N. The importance of improving energy efficiency and safety of coal mine extraction area. *Ugol'*. 2018, no. 10 (1111), pp. 66–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-66-67 [In Russ].
10. Wu Renlun, Wang Yafei, Xu Dongliang, et al. Effects of working face width on the scope of the “three zones” of gas pressure relief and migration in coal seam group mining. *Journal of Mining & Safety Engineering*. 2017, vol. 34, no. 1, pp. 192–198. [In Russ].
11. Petrov V., Sadridinov A., Pichuev A. Analysis and Modeling of Power Consumption Modes of Tunnelling Complexes in Coal Mines. *E3S Web of Conferences*, 174, 01006 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401006>.
12. Nefedov A.P. *Odnovremennaya struktura sblizhennykh gazonosnykh pologikh plastov uglya sredney moshchnosti s sokhraneniem za lavami ventilyatsionnykh povtorno. ispol'zuyemykh vyrabotok. Avtoreferat dissertatsii soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Simultaneous structure of contiguous gas-bearing shallow coal seams of medium power with preservation behind the lavas of ventilation reused workings. Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences], 1994. [In Russ].
13. Ardashev K.A., Reva V.N., Rosenbaum M.A. *Sposob otrabotki ugol'nykh plastov. Patent na izobreteniyе RUS 2164293 26.05.1998* [Method of coal seams mining. Patent for invention RUS 2164293 05/26/1998]. [In Russ].
14. Stumpf G.G., Anufriev V.E., Strygin B.I. *Sposob okhrany povtorno. ispol'zuyemykh gornyykh vyrabotok. Patent na izobreteniyе RUS 2013546* [Method of protection of reused mining workings. Invention patent RUS 2013546]. [In Russ].
15. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. *Journal of Applied Science and Engineering*. 2020, Vol. 24, no. 1, pp. 105–110. [http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24\(1\).0014](http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24(1).0014).
16. *Rudnichnaya ventilyatsiya: Spravochnik*. [Mine ventilation: Handbook], Pod red. K.Z. Ushakova. Moscow, Nedra, 1988, 440 p.
17. Michael J. Landry. The coset construction for non-equilibrium systems. *High Energy Physics. Theory*. Submitted on 27 Dec 2019, p. 35. <https://arxiv.org/abs/1912.12301>.
18. M. Baggioli and M.J. Landry. Effective field theory for quasicrystals and phason dynamics [arXiv:2008.05339 [hep-th]].
19. 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.
20. 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].
21. 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/.
22. Kulikova A.A., Sergeeva Yu. A., Ovchinnikova T.I., Khabarova E.I. Formation of mine water composition and analysis of treatment methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):135–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

23. Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli. The evolution of thick coal seams mining methods in China. E3S Web of Conferences 192, 01023 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201023>.

24. Yutyaev E.P., Mazanik E.V., Slastunov S.V., Batugin A.S. (2019) Methodology for the Selection of In-Seam Gas Drainage System for Intensive and Safe Coal Mining. IVth International Innovative Mining Symposium, E3S Web of Conferences 105, 01032. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501032>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Скопинцева Ольга Васильевна — доктор технических наук, профессор, профессор, НИТУ «МИСиС», e-mail: skopintseva54@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Skopintseva O.V., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor, NUST «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: skopintseva54@mail.ru.

Получена редакцией 05.12.2020; получена после рецензии 20.12.2020; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 05.12.2020; received after the review 20.12.2020; accepted for printing 01.02.2021.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

(2020, № 1, СБ 1, 296 с.)

Коллектив авторов

В сборник вошли материалы исследований по проблемам системы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда на предприятиях горно-металлургического комплекса. Приведены научно-обоснованные предложения по взрывобезопасности угольных шахт, эффективности систем дегазации, по оценке аэрологических рисков при обосновании безопасности и управлении газовойделением на угольных шахтах, по управлению состоянием углепородного массива, методическому обеспечению оценки рисков при освоении подземного пространства мегаполисов, по совершенствованию многофункциональных систем промышленной безопасности. Рассмотрены проблемы установления экологических рейтингов горных предприятий, вопросы обеспечения экологической безопасности, в том числе вопросы геоэкологии в районах разработки месторождений полезных ископаемых, элементы «зеленой» химии, а также вопросы формирования инвестиционной программы на предприятиях минерально-сырьевого комплекса.

Для руководителей организаций и специалистов в области промышленной безопасности и охраны труда горно-металлургического комплекса.