

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимофеева Ю.В., Суксова С.А., Долган А.А., Попов Е.В. Способы проветривания карьеров // Вестник Евразийской науки. – 2020. – № 6. – С. 58.
2. Морин А.С., Борисов Ф.И., Корзухин И.В., Борисов Д.Ф. О тепловой подготовке приточного воздуха и применении двухканальных воздухопроводов при трубопроводном проветривании карьеров // Горная промышленность. – 2016. – №. 1 (125). – С. 40-46.
3. Иванов И.И. Геотермический режим и естественный воздухообмен карьеров – М.: Недра. – 1982. – 173 с.: ил.
4. Конорев М.М., Нестеренко Г.Ф., Павлов А.И. Вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2010. – 439 с.: ил.
5. Бакланов А.А. Численное моделирование в рудничной аэрологии. – Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1988. – 197 с.: ил.
6. Бакланов А.А. Определение распространения примесей в атмосфере карьера на основе математического моделирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. – №. 5. – С. 73-79.
7. Алоян А.Е., Бакланов А.А., Пененко В.В. Применение метода фиктивных областей в задачах численного моделирования вентиляции карьеров // Метеорология и гидрология. – 1982. – №. 7. — С. 42-49.
8. Fomin A.A. Modeling of natural convection in an open pit // Fluid Dynamics. – 1996. – V. 31. – №. 4. – P. 490-496. – DOI: 10.1007/BF02031753.
9. Козырев С.А., Амосов П.В. Пути нормализации атмосферы глубоких карьеров // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17, №. 2. – С. 231-237.
10. Tukkaraja P., Keerthipati M., French A. Simulating temperature inversions in surface mines using computational fluid dynamics // Proceedings of the South Dakota Academy of Science. – 2016. – V. 95. – P. 119-124.
11. Raj K.V., Fochesatto G.J., Bandopadhyay S. Air Temperature Inversions and its Impact on Natural Ventilation in Open pit Mines // Proceedings of the 15th North American Mine Ventilation Symposium. – Virginia, 2015. – P. 269-279.
12. Гендлер С.Г., Борисовский И.А. Оценка особенностей формирования температурных инверсий при открытой добыче полезных ископаемых в условиях Арктики // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2021. – №. 4. – С. 59-75. – DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-59-75.
13. Amosov P.V. Numerical modeling of open pit ventilation when varying the location of the dust and gas cloud // Изв. вузов. Горн. журн. – 2021. – №. 7. – С. 5-15.
14. Козырев С.А., Скороходов В.Ф., Никитин Р.М., Амосов П.В., Массан В.В. 3D компьютерное моделирование характера распределения воздушных потоков на поверхности и в карьерном пространстве глубоких карьеров с учетом реального рельефа местности и масштаба карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №. S56. – С. 399-403.
15. Versteeg H.K., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. – 2nd ed. – Harlow, England; New York: Pearson education Ltd, 2007. – 520 p.
16. Grandi D., Passerini A. On the Oberbeck–Boussinesq approximation for gases // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2021. — V. 134. – Номер статьи 103738.

УДК 622.253

DOI:10.7242/echo.2022.1.20

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ВСАСЫВАЮЩЕГО СПОСОБА ПРОВЕТРИВАНИЯ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ПЫЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ

А.Г. Исаевич

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе описываются проблемы высокой запыленности атмосферы калийных рудников. Обосновывается неэффективность применения нагнетательного способа проветривания тупикового забоя для нормализации пылевой обстановки. Приводятся результаты численного эксперимента, показывающие, что всасывающий способ проветривания позволяет эффективно локализовать пылевое облако у груди забоя и тем самым снизить концентрацию пыли в локальной области кабины машиниста комбайна.

Ключевые слова: калийные рудники, комбайновая выемка, тупиковая выработка, пылевоздушная смесь, способы проветривания, численное моделирование, скорость воздуха, концентрации пыли, диффузия, турбулентность.

Проблема высокой запыленности рабочих зон при добыче калийных солей обострилась с переходом от буровзрывного способа к комбайновому. Поскольку прогресс не стоит на месте, очевидно, что производительность комбайновых комплексов будет только увеличиваться, в связи с чем проблема запыленности будет усугубляться.

Пик исследований данного вопроса приходится на 70-е года XX века. В это время появились работы Овсянкина А.Д., Казакова Б. П., Сметанина М.М. Серьезно занимались данным вопросом А.Е. Красноштейн и И.И. Медведев. В своих работах авторы приводят результаты исследований свойств калийной пыли, запыленности атмосферы калийных рудников Верхнекамского, Старобинского, Прикарпатского месторождений. Предлагают различные способы снижения концентрации пыли, отмечают, что эффективная борьба с пылью возможна при использовании ее свойств, в частности, гигроскопичности.

Однако «всплеск» данных исследований прошел, а проблема осталась. Еще в своей кандидатской диссертации 1973 года Овсянкин А.Д. отмечал, что основным средством борьбы с калийной пылью на комбайновых комплексах является вентилятор пылеотсоса и тканевый фильтр. Сегодня, в 20-х годах XXI века, единственным средством является все тот же вентилятор пылеотсоса и тканевый фильтр, основная роль которых состоит в возможности указать в паспорте комбайна, что на комбайнах присутствует система пылеулавливания. При этом концентрация пыли в забое может достигать 2500 мг/м^3 (рис. 1) при предельно допустимой концентрации пыли в рабочей зоне 5 мг/м^3 воздуха.



Рис. 1. Пылевая обстановка в забое

Борьба с калийной пылью обладает рядом особенностей (по сравнению с угольной пылью). Во-первых, значительное количество выделяющейся пыли. Нетрудно подсчитать: для того, чтобы превысить норму ПДК в добычной камере длиной 100 м и площадью сечения 15 м² достаточно перевести во взвешенное состояние всего 7,5 г калийной соли, тогда как производительность добычных комбайнов составляет 7 т/мин (для комбайнов Урал 20Р).

Во-вторых, по ряду причин «классические» методы борьбы с пылью, применяемые в забоях угольных шахт, такие, как предварительное увлажнение угля в массиве, орошение на горных машинах, пылеотсосы с последующей очисткой воздуха, пылеподавление пеной [1-7] и другие основанные на использовании воды, не применимы при добыче калийных солей. Это связано с отсутствием достаточного количества воды, поскольку калийные рудники традиционно не имеют систем подземного водопровода; в условиях гигроскопичных недопустимо переувлажнение пород, так как оно приводит к слёживаемости и образованию агрессивной среды, которая опасна быстрым коррозионным износом оборудования [8].

Таким образом, поскольку предыдущие «классические» методы борьбы с калийной пылью не дали положительного результата – снижения ее концентрации до значений ПДК, – предлагается изменить «вектор» нормализации пылевой обстановки – не пытаться снизить концентрацию пыли во всем объеме рабочей зоны (к тому же это физически невозможно), а выделить зоны, в которых большую часть времени находятся машинист комбайна и самоходного вагона, и поддерживать в них минимально возможную концентрацию пыли.

Реализация предлагаемого подхода трудно осуществима при использовании нагнетательного способа проветривания, характеризующегося высокой турбулентностью в призабойном пространстве, и, что самое важное, образующимся вихрем в призабойном пространстве (рис. 2). При этом вихрь располагается в пространстве между комбайновым комплексом и кровлей выработки. Часть потоков вихря проходит через область пересыпа отбитой руды со стрелы комбайна в бункер-перегрузжатель, являющуюся зоной интенсивного пылеобразования, и возвращается к рабочему месту машиниста комбайна.

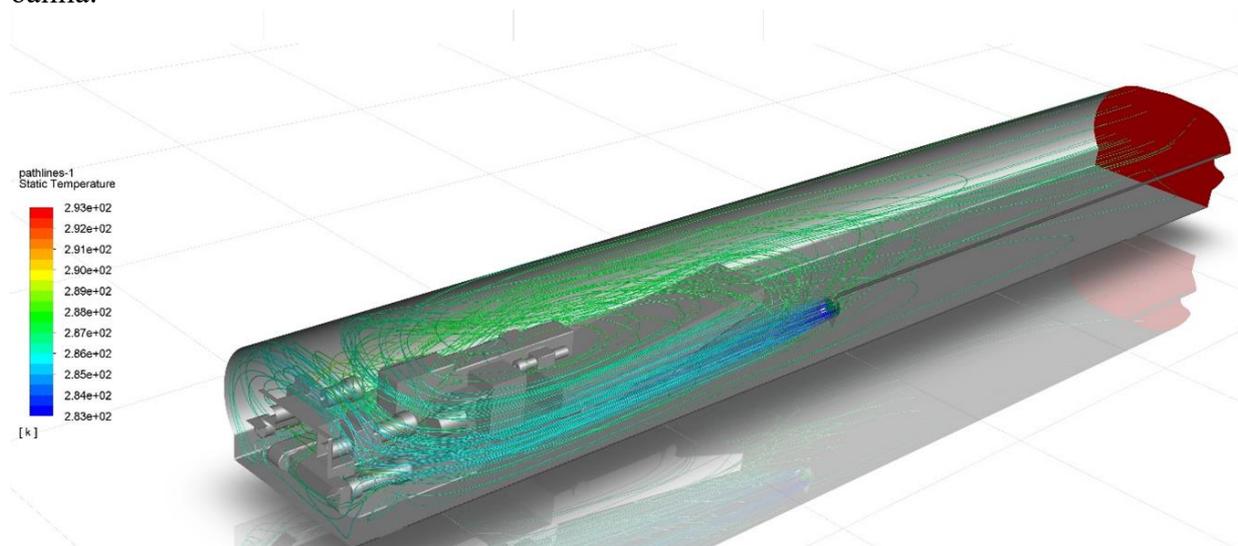


Рис. 2. Результаты моделирования нагнетательного способа проветривания

Данный факт приводит к тому, что увеличение подачи воздуха в забой не улучшает пылевую обстановку. Более того – чем интенсивнее вихрь, тем больше пыли заносится к кабине машиниста.

Всасывающий способ проветривания, напротив, позволяет осуществить подход, когда возможно пространственное разделение мест пылеобразования и мест «воздухопотребления» рабочими, т.е. позволяет разделить потоки пыли и свежего воздуха. В связи с этим предлагается детально рассмотреть влияние на пылевую обстановку всасывающего способа проветривания. Для этого разработана численная модель тупикового комбайнового забоя. Особенностью модели является учет размещенного в ней оборудования. В частности, проходческо-очистного комбайна и бункера-перегрузателя. При этом в геометрии учитывались все элементы, способные оказать значимое влияние на аэродинамические процессы. Так, в модели учтена работа электродвигателей комбайна (их нагрев и обдув системой охлаждения) и осуществлена возможность учета их воздействия на атмосферу рабочей зоны.

Моделирование всасывающего способа проветривания производилось при различных условиях, при этом изменялась не только интенсивность (количество воздуха) всасывания, но и расположение мест всасывания воздуха. Идея численного эксперимента состояла в том, чтобы оценить эффективность всасывающего способа проветривания, используя при этом в качестве источника тяги штатный вентилятор пылеотсоса, подсоединив к выхлопу вентилятора (вместо тканевого фильтра) вентиляционный став, по которому запыленный воздух будет удаляться на выемочный штрек. При положительных результатах данный вариант был бы хорош тем, что не требовал бы существенных затрат на его внедрение. При этом проведена оценка пылевой обстановки при различной интенсивности всасывания: стандартной (обеспечивает штатный вентилятор пылеотсоса) – $3,12 \text{ м}^3/\text{с}$; увеличенной в 1,5 раза – $4,68 \text{ м}^3/\text{с}$; уменьшенной в 1,5 раза – $2,08 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 3).

Результаты моделирования показывают, что всасывающий способ проветривания позволяет локализовать пылевое облако в призабойной части, увеличение производительности всасывающего вентилятора приводит к снижению концентрации пыли на рабочем месте машиниста комбайна (в отличие от нагнетательного способа проветривания). Помимо этого, можно заметить, что чем выше производительность всасывающего вентилятора, тем ближе пылевое облако удается прижать к груди забоя и кровле выработки. Если говорить точнее, то к сечению, в котором расположено всасывающее отверстие вентилятора. Очевидно, что сечение выработки, в котором расположен всасывающий вентилятор, является той границей, дальше которой невозможно отодвинуть пылевое облако. Как уже было сказано выше, кабина машиниста комбайна и всасывающее отверстие вентилятора расположены в одном сечении. Вероятно, что смещение места всаса как можно ближе к забою позволит локализовать пылевое облако в призабойной части выработки, а кабина машиниста окажется в минимально запыленной атмосфере.

Для проверки предположения о повышении эффективности всасывающего проветривания при перемещении места всаса ближе к щиту в условия моделирования внесены изменения. В частности, место всасывания воздуха перенесено к щиту с правой стороны комбайна на расстояние 0,5 м от щита.

Если сравнить визуализацию результатов расчета всасывающего способа проветривания (при стандартных условиях $Q = 3,12 \text{ м}^3/\text{с}$) при размещении всаса вентилятора напротив кабины машиниста (рис. 4б) и в 0,5 м от щита комбайна (рис. 4а), можно отметить, что приближение места всаса к щиту позволяет локализовать пылевые потоки преимущественно с правой стороны комбайна в непосредственной близости от щита.

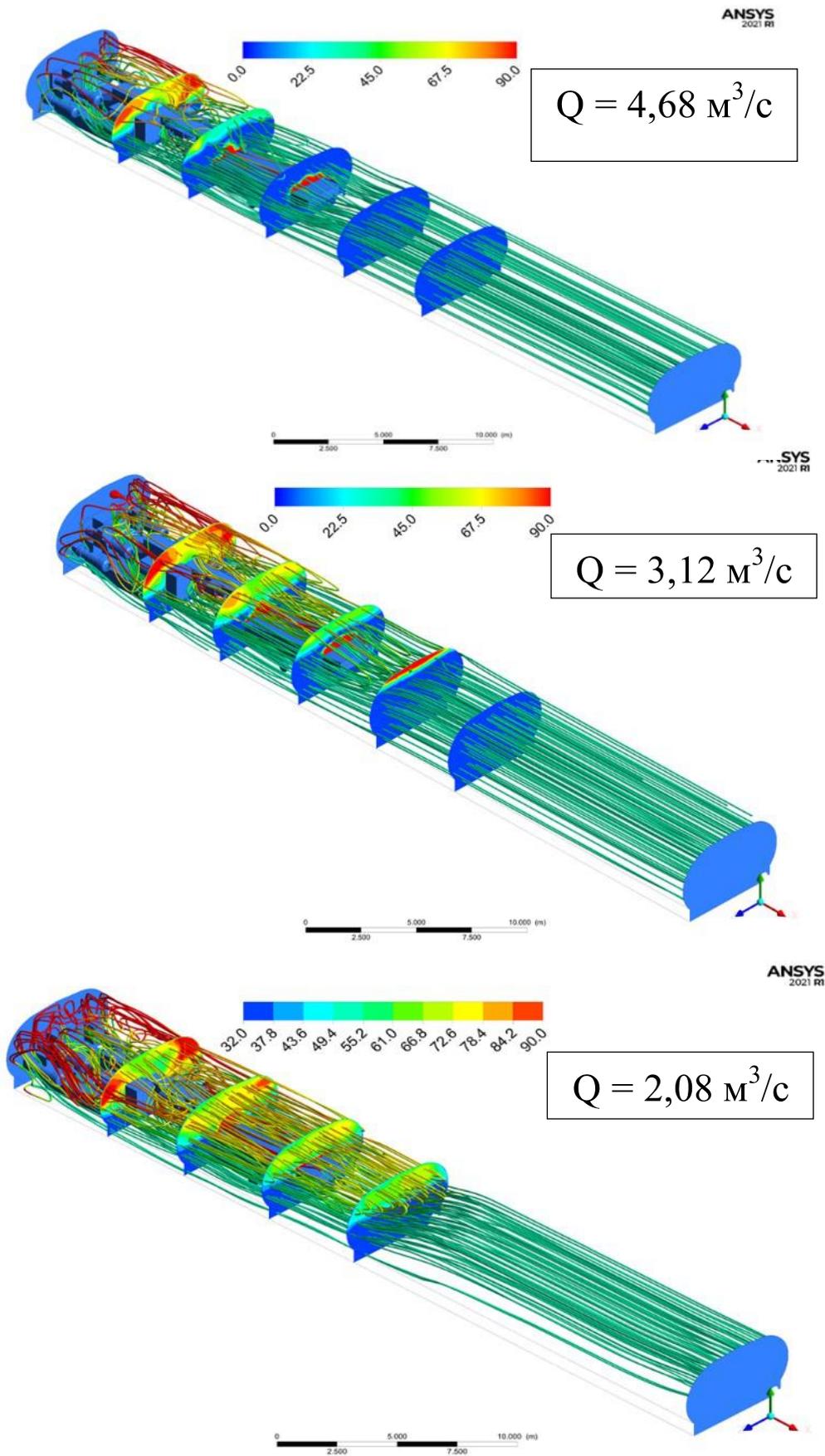


Рис. 3. Сравнение визуализации особенности течения воздушных потоков в зависимости от производительности всасывающего вентилятора

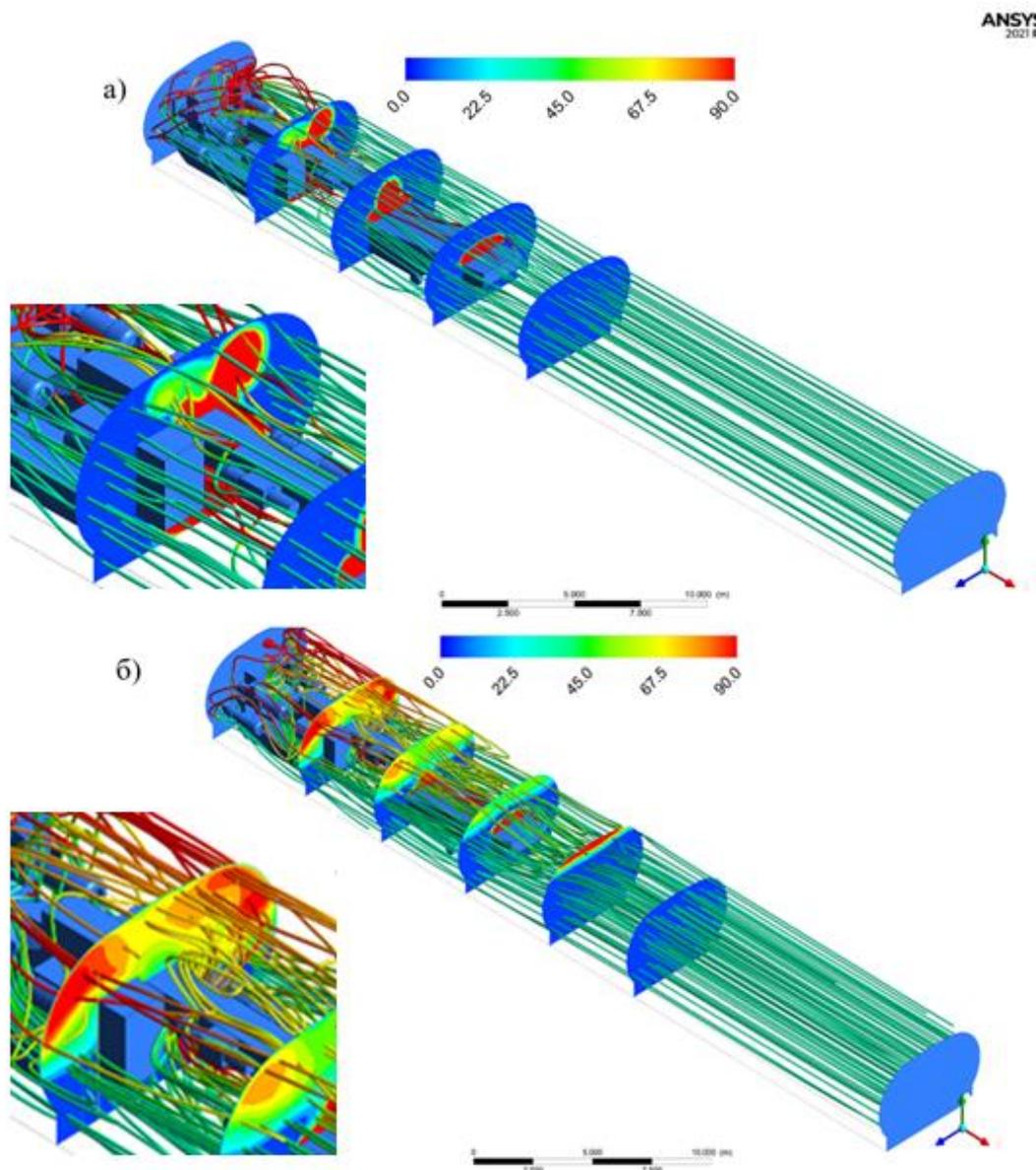


Рис. 4. Сравнение результатов расчет всасывающего способа проветривания при различном расположении места всасывания:
а) в 0,5 м от щита комбайна, б) напротив кабины машиниста комбайна

В целом можно отметить, что наличие вихря, возвращающего пылевоздушные потоки обратно к кабине машиниста комбайна при нагнетательном способе проветривания, характерно в широком диапазоне подаваемого количества воздуха и не позволяет нормализовать пылевую обстановку. Всасывающий способ проветривания позволяет локализовать пылевое облако и тем самым снижать концентрацию пыли в отдельных зонах, в том числе, и в зоне нахождения машиниста комбайна, на степень локализации можно влиять, изменяя производительность всасывающего вентилятора, при увеличении производительности степень локализации возрастает.

Приближение места «всаса» к ограждающему щиту позволяет локализовать пылевые потоки преимущественно с правой стороны комбайна в непосредственной близости от щита, кабина машиниста комбайна оказывается в атмосфере с минимальной концентрацией пыли. Таким образом, смещение области забора воздуха к ограждающему щиту комбайна при всасывающем способе проветривания оказывается наиболее предпочтительным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищук И.Г., Поздняков Г.А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий: справочник. – М.: Недра, 1991. – 252 с.: ил.
2. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Бекирбаев Д.Б. и др. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 499 с.: ил.
3. Борьба с пылью на угольных шахтах СССР: обзор / Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-экон. исследований угольной пром-ти. – М., 1963. – 155 с.: ил.
4. Брагинский М. Д., Воронов В. Н. Комплекс типового оборудования для борьбы с пылью при помощи пены. Угольное и горнорудное оборудование / НИИинформтяжмаш, 2-74-9. – М., 1974.
5. Бреннер В.А., Жислин И.М., Иконников Г.С. Проходческий комбайн «Караганда-7/15». – М.: Недра, 1969. – 205 с.: ил.
6. Зеляев Д.И., Брагинский М. Д., Колосов В. Н. Системы орошения повышенной надежности. Угольное и горнорудное оборудование / НИИинформтяжмаш 2-74-9. – М., 1974.
7. Карпов А.М., Байков А.Ф. Пылеулавливающая установка с рассредоточенным положением всасывающих патрубков // Горные машины и автоматика. – 1973. – № 5. – С.
8. Сметанин М.М. Исследование физико-химических свойств калийной и каменносоляной пылей с целью разработки методов контроля и средств пылеулавливания: дис. ... к.т.н: – Л., 1973. – 232 с.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2022.1.21

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ
РАЗВИТИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
ИЗ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
IV КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА**

Н.А. Литвиновская

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье представлены результаты исследования возможности развития газодинамических явлений из почвы горных выработок IV калийного горизонта Старобинского месторождения. В основу легли шахтные экспериментальные исследования давления свободного газа в породах почвы горных выработок, а так же прочностных свойств породы и горно-технологических данных. В ходе проведения исследований установлены опасные по скоплению свободного газа породы, проведен сравнительный анализ безопасного газового давления и давления газа в массиве, зафиксированного в ходе шахтных исследований. Выводы, сделанные на основе анализа, позволяют выявить потенциально опасные участки горных выработок. Так же в статье даны рекомендации по предотвращению газодинамических явлений из пород почвы горных выработок.

Ключевые слова: газоносность пород, IV калийный горизонт, Старобинское месторождение калийных солей, почва горных выработок, газодинамическое явление, давление газа в горных породах.

Введение

Добыча калийной руды на Старобинском месторождении калийных солей ведется на трех калийных горизонтах. При этом ведение горных работ на горизонтах III и I осложняется газодинамическими явлениями (ГДЯ) различного характера. Оба горизонта признаны опасными по ГДЯ. Породы 12 глинисто-карбонатной пачки, находящейся по разрезу ниже III калийного горизонта (рис. 1), также признаны опасными по газодинамическим явлениям.

В развитии газодинамического явления, помимо газовой составляющей, принимает существенное влияние геостатическая составляющая горного давления, которая увеличивается с глубиной разработки. Исходя из этого и из геологического строения, породы IV калийного горизонта ещё до проведения вскрывающих уклонов и детального изуче-