

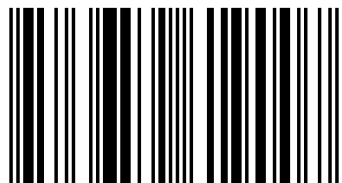
Представлен опыт развития аэрогазодинамики, на основе результатов исследований А.А. Скочинского, В.Б. Комарова, И.И.Медведева, А.Е. Красноштейна, Г.Д.Поляниной, В.Н.Воронина, М.А.Патрушева, А.А. Мясникова, К.З.Ушакова, Л.А.Пучкова, Г.К.Рязанцева, Ф.С.Клебанова, А.Ф.Милетича, В.А.Ярцева, И.Е.Идельчика, А.Д.Альшулья, Г.А.Адамова, Р.С.Флятау, Н.Н.Мохирева, М.М.Сметанина, Г.З.Файнбурга, Н.И.Алыменко и многих других, создана система обоснованных требований, нормирующих опасные факторы и параметры воздушной среды. Рассмотрены современные методы определения расхода воздуха для рудников. Представлены структура и основные подходы в построении методики организации проветривания. Приведены формулы для расчета необходимого количества воздуха в соответствии с нормативными требованиями. Перечислены рудники, на которых внедрены методики организации вентиляции и расчета количества воздуха, необходимого для проветривания. Все методики прошли согласование в Ростехнадзоре. В расчетах расхода воздуха учитывается экологический класс очистки выбросов техникой с двигателями внутреннего сгорания. В методиках также содержатся способы и средства активного управления воздушными потоками.



Дмитрий Александрович Пьянков
Вадим Витальевич Минин

Вентиляция рудников

Минин Вадим Витальевич, к.т.н., доцент, чл.-корр. Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Один из учеников и последователей научной школы аэрологии СССР. Пьянков Дмитрий Александрович, аспирант, ведущий инженер от дела вентиляции горных выработок



978-3-659-61900-7

 **LAMBERT**
Academic Publishing

**Дмитрий Александрович Пьянков
Вадим Витальевич Минин**

Вентиляция рудников

**Дмитрий Александрович Пьянков
Вадим Витальевич Минин**

Вентиляция рудников

LAP LAMBERT Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: info@lap-publishing.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-61900-7

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2014 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2014

СОДЕРЖАНИЕ

1 Развитие аэрогазодинамики рудников	2
2 Генезис газовых месторождений и проветривание рудников	5
3 Энергоэффективность вентиляции и рациональное управление	11
4 Концепция проветривания рудников	17
5 Предотвращение образования опасных газовых скоплений в тупиковых выработках	25
6 Структуризация подземных пространств	32
7 Безопасность ведения горных работ при проектировании горно-технических систем вентиляции	37
8 Результативность применения подземных установок главного проветривания	42
9 О проектировании схем проветривания	49
10 Определение требуемого расхода воздуха, вследствие геологических особенностей подземного рудника «Мир»	55
11 О положительном регулировании воздуха в рудниках подземной вспомогательной вентиляционной установкой главного проветривания	63
12 Глобальное энергосбережение в условиях России	73
13 Разработка методов определения расхода воздуха для рудников	81

1 Развитие аэрогазодинамики рудников

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

Добыча полезных ископаемых нередко сопровождается взрывами газо-воздушной смеси, содержащей метан и водород. Самая крупная в мире авария на шахте произошла в Китае. В апреле 1942 г. взрыв угольной пыли на шахте "Хинкейко" унес жизни 1572 человек. В ноябре 1989 г. в результате взрыва на угольной шахте в Сербии погибли 90 человек, такой же взрыв в августе 1990 г. стал причиной гибели 178 югославских шахтёров на глубине 500 метров под землей. В Китае 21 апреля 1991 г. из-за взрыва газа на угольной шахте были заживо погребены 147 шахтеров. В тоже время, например, в США каждый год погибают 60-70 шахтеров, примерно вдвое меньше, чем в начале 1980-х гг. В Российской Федерации и странах СНГ тенденция обратная.

Число людей, погибающих при авариях в шахтах, растет год от года. Основным способом предотвращения подобных явлений считается эффективное проветривание, а научное направление, призванное разрабатывать методы нормализации атмосферы горных выработок именуется рудничной аэрогазодинамикой.

Развитие аэрогазодинамики происходит совместно с развитием всего горного дела, однако требуются опережающие темпы роста знаний в данной области для повышения безопасности ведения горных работ. Серьезным фактом является то, что в середине XX века стали увеличиваться в размеры шахтных полей подземных рудников, и производительность их возросла многократно. Технология добычи полезных ископаемых перестраивалась под новые условия, а технология процесса проветривания, оставалась неизменной.

В общем, комплексе мероприятий по повышению эффективности использования в современном горном производстве новой высокопроизводительной техники и прогрессивных технологических схем важное значение имеет вентиляция.

Горнодобывающая промышленность является одним из главных потребителей электрической и тепловой энергии. Ежегодно на нужды только подземных горных предприятий России расходуется свыше 100 млрд кВт.ч. электроэнергии и более 10 млн. Гкал тепла.

Для рудников Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей доля затрат на вентиляцию и обогрев воздуха возросла с 8-10 % в 1977-1980 г.г. до 30-50 % в 1997-2001 г.г. В сравнении с удельными затратами энергии на отбойку руды, они в два раза выше (2,1 -2,4 и 4,4 – 4,9 кВт/т соответственно). Поэтому создание энергосберегающих технологий проветривания имеет большое народно-хозяйственное значение.

Исследования процессов аэропылегазодинамики, описанные в работах В.Б.Комарова, И.И.Медведева, А.Е.Красноштейна, Г.Д.Поляниной, В.Н.Воронина, М.А.Патрушева, К.З.Ушакова, Ф.С.Клебанова, А.Ф.Милетича, В.А. Ярцева, Н.Н.Мохирева, Г.З.Файнбурга, Н.И.Альменко, В.В.Минина и др., показывают, что имеются значительные вентиляционные резервы, использование которых приведет не только к снижению энергетических затрат, но и позволит повысить безопасность ведения горных работ. Однако анализ публикаций показал, что в настоящее время пути и способы нормализации проветривания подземных рудников большой мощности изучены недостаточно.

Настоящая работа посвящена исследованию процессов, воздействующих на качество атмосферы подземных рудников большой мощности. На основе этого исследования можно разработать методологию расчета и организации вентиляции, на базе которой

создать энергосберегающие технологии проветривания (на примере калийных рудников Верхнекамского и Старобинского месторождений).

Атмосфера подземных пространств рудников формируется в процессе движения воздуха, поступающего с поверхности Земли, по системе горных выработок. Существенную роль в формировании параметров атмосферы рудников играют микроклимат и газовый состав воздуха того района, где они расположены. По мере продвижения в вентиляционной сети воздушный поток испытывает различные физические воздействия и химические превращения. Эти процессы способны изменить свойства воздуха и сделать его опасным или, напротив, полезным для жизнедеятельности людей.

На основе результатов исследований А.А. Скочинского, В.Б. Комарова, И.И.Медведева, А.Е. Красноштейна, Г.Д.Поляниной, В.Н.Воронина, М.А.Патрушева, А.А. Мясникова, К.З.Ушакова, Л.А.Пучкова, Г.К.Рязанцева, Ф.С.Клебанова, А.Ф.Милетича, В.А. Ярцева, И.Е. Идельчика, А.Д. Альшулья, Г.А.Адамова, Р.С. Флятау, Н.Н. Мохирева, М.М.Сметанина, Г.З.Файнбурга, Н.И.Альменко и многих других, создана система обоснованных требований, нормирующих опасные факторы и параметры воздушной среды. В то же время опыт эксплуатации рудников показывает, что поддержание безопасных условий ведения горных работ существующими методами, способами и средствами проветривания требует громадных энергетических затрат.

Как уже отмечалось ежегодно на нужды только подземных горных предприятий расходуется свыше 100 млрд кВт.ч электроэнергии и более 10 млн. Гкал тепла. Значительная часть этих затрат (не менее 15%) расходуется на вентиляцию и обогрев подаваемого в шахту воздуха. При этом, например, регулярно проводимый анализ на рудниках Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей показал, что доля затрат электроэнергии на вентиляцию рудников возросла с 8-10 % в 1977-1990 гг. до 30-50 % в 1997-2000 гг.

Очевидно, что назрела необходимость создания технологических методов энергосбережения для решения проблем нормализации состава и микроклимата атмосферы подземных рудников. При этом все нормируемые параметры рудничной атмосферы должны рассматриваться как единый комплекс. Сокращение затрат на поддержание этого комплекса в заданных пределах возможно при уменьшении энергопотребления на управление каждым из параметров.

Рассмотрим формирование этих параметров в условиях калийных рудников начиная с газового состава атмосферы.

Разработка калийных месторождений в большинстве случаев сопровождается выделением в рудничную атмосферу взрывоопасных, вредных и значительно реже ядовитых газов.

Генезис газов тесно связан с условиями формирования месторождений и последующими тектоническими процессами, происходившими в период существования залежи. Формирование месторождений происходило в различные геологические периоды. В Пермский период образовались Верхнекамское, Прикаспийское (Россия), Карлсбадское (США) месторождения, а также месторождения Германии. Время образования Старобинского месторождения относится к девонскому периоду, Прикарпатского (Россия) и Эльзасского (Франция) – третичному. В основном считается, что формирование месторождений происходило в морских лагунах. Подобное мы можем наблюдать и в современности, например, залив Кара-Багаз-Гол или Мертвое море.

Содержание солей NaCl, KCl, MgCl₂·6H₂O, MgSO₄, CaSO₄, Ca(HCO₃)₂ и других в морской воде изменяется в широких пределах от 1,03 до 3,63 % веса или от 2 до 4 % объема.

При насыщении раствора солей в морской лагуне вначале выпадают в осадок наиболее труднорастворимые соли, например карбонаты кальция и магния, образуя отложения известняка, доломита и мергеля, затем все более легко растворимые, такие как

сульфаты кальция (гипс и ангидрит), хлористый натрий (галит), смесь хлористого калия (сильвинит). При еще большей концентрации раствора могут выпасть в осадок такие соли, как каинит и кизерит, и, наконец, наиболее легко растворимые соли (карналлит и бишофит). Последовательность выпадения солей в осадок зависит от многих факторов: гидрогеологических, геохимических, климатических и др. Поэтому описанная последовательность выпадения солей может нарушаться.

Образование газов в залежах солей на разных месторождениях происходило неодинаково. Существует несколько точек зрения о природе происхождения газов в солях Верхнекамского месторождения. Исследования Н.К. Чудинова показали, что образование газов в большой степени связано с жизнедеятельностью микроорганизмов в солеродном бассейне, особенно водорода. Эта точка зрения была подтверждена работами немецких ученых.

В процессе кристаллизации газы захватывались массой кристаллов. В дальнейшем рассеянный в горной породе газ в период тектонических процессов под воздействием высокого давления и неравномерного его содержания в массиве стремился заполнить свободные трещины и пустоты. При этом из горной породы вследствие законов диффузии в первую очередь выжимались легкие газы (водород), затем более тяжелые (метан и углеводороды метанового ряда) и, наконец, самые тяжелые (азот, оксиды и диоксиды азота и углерода и т.п.).

Такой взгляд на историю образования газов и накопления свободных газов подтверждается данными по газоносности пород Верхнекамского и Старобинского месторождений, полученными при систематических исследованиях, проводимых под руководством И.И.Медведева, А.Е.Красноштейна и Г.Д. Поляниной, где наиболее газонасыщенными являются трещиноватые зоны массива. Особенно четко эта закономерность прослеживается на карналлитовом пласте Верхнекамского месторождения.

Захват газов в момент кристаллизации и разложение органических остатков - основные причины газоносности пород Старобинского, Калужского, Артемовского и других калийных и соляных месторождений. Углекислый газ оставался в калийном пласте, захватываясь образующимися кристаллами солей.

Анализ генезиса газов различных месторождений позволяет выделить три основных источника их образования в калийных пластах и залежах:

- газы, образовавшиеся в результате разложения органических веществ и жизнедеятельности бактерий (метан, углеводороды, водород, сернистые газы);
- газы, образовавшиеся в результате воздействия на калийные залежи термальных источников, богатых солями и углекислотой (водород, окись углерода и т.п.);
- газы, привнесенные в калийные месторождения из окружающих битуминозных пород и нефтяных месторождений (водород и углеводороды).

Список литературы

1. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика. М.: Недра, 1972.274с.
2. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. М.: Недра, 1987. 421с.
3. Бурчаков А.С., Мустель П.И., Ушаков К.З. Рудничная аэрология. М.: Недра, 1971. 376 с.
4. Воронин В.Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. М.; Л.: Углетехиздат, 1951. 491 с.
5. Скочинский А.А. и [др] Вентиляция рудников. М.: Горно-нефт. Изд-во, 1933.-418 с.
6. Скочинский А.А., Комаров В.Б. Рудничная вентиляция. М.: Углетехиздат, 1959. 632с.

2 Генезис газовых месторождений и проветривание рудников

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

В соответствии с современной точкой зрения газы, накопившиеся в месторождениях, во вмещающих породах и полезном ископаемом, можно подразделить на свободные - скопления газов, заполняющие всякого рода трещины и пустоты; - связанные - рассеянные газы, пропитывающие массу породы, которые делятся на микровключенные (заклученные в кристаллической решетке солей) и межкристаллические (поровые, сорбированные и др.).

Свободные газы находятся под большим давлением (до 80-120 атм.). Значительные скопления свободных газов, находящихся в трещинах или полостях, при вскрытии горными работами выделяются суффлярно.

Газы закрытых пор и связанные межкристаллические газы могут выделиться только при разрушении структуры породы, а внутрискристаллические - при разрушении кристаллов, например, при растворении водой. Газы, содержащиеся в кристаллах, присутствуют почти во всех соляных минералах. Освобождающиеся пузырьки газа имеют давление 8-12 атм.

Разрабатываемые пласты и вмещающие породы Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей содержат в микровключенном и свободном виде природные газы, в состав которых входят метан, тяжелые углеводороды, водород, сероводород, окись углерода и многие др.

Скопление свободных газов наблюдается в двух формах: приконтактные (прикоржевые) и гнездовые (очаговые). Распределение газов, их количественный и качественный составы как по месторождениям в целом, так и в пределах отдельных шахтных и выемочных полей, пластов, участков крайне неравномерны и несут локальный характер.

Газоносность пород по горючим газам (метан + водород) колеблется от 0 до 1,5-1,7 м³/м³ пород. В качестве примера в табл. 1.1 приведена газоносность пород на некоторых участках рудников.

Породы отличаются весьма низкой газопроницаемостью. Относительная газообильность проводимых выработок не превышает 0,15-0,2 м³/м³ горной массы - по сильвинитовым пластам и 1,2 м³/м³ - по карналлитовому пласту (см.табл.1.1). Гнездовые скопления, в том числе и мулды погружения, представляют собой зоны с повышенной пористостью пород, заполненные газом под большим давлением (до 80-120 атм.). При вскрытии их шпурами, скважинами, исполнительными органами комбайнов, трещинами, взрывными работами возможны суффлярные и внезапные выделения газов, в том числе с выбросом соли.

Газ обнаруживается только в момент разрушения горного массива и только в местах, где это разрушение происходит.

Отличие величин, приведенных в табл. 1, по разным участкам превосходит трехсоткратный показатель.

На поступающих и исходящих струях блоков, добычных участков, панелей, пластов (даже наиболее газоносного карналлитового пласта), в общерудничных исходящих струях в течение всего времени эксплуатации рудников с помощью существующих методов и приборов газового контроля не было обнаружено содержания горючих газов.

Таблица 1 - Газовая обстановка (по горючим газам) на рудниках Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей

Наименование рудника, панели	Газоносность пород, м ³ /м ³	Относительная газообильность выработок, м ³ /м ³
Верхнекамское месторождение		
БКПРУ-1 пл. Кр-Ц, 5 ЮЗП	0,25	0,072
БКПРУ-1 пл. АБ, 5-бисЗП	0,46	0,154
БКПРУ-1 пл. В, 10 ВП	1,67	1,132
БКПРУ-2 пл. Кр-Ц, 15 ЗП	0,29	0,083
БКПРУ-2 пл. АБ, 12 ВП.	0,52	0,179
БКПРУ-4 пл. АБ, 1 ЮВП	0,33	0,089
СКПРУ-1 пл. В, 2 ВП	1,39	1,131
СКПРУ-1 пл. Кр-Ц, 4 СП	0,22	0,058
СКПРУ-2 пл. АБ, 4 ЮЗП	0,71	0,105
СКПРУ-2 пл. Кр-Ц, 5 ВП	0,28	0,081
СКПРУ-3 пл. Кр-Ц, 3 П	0,21	0,049
СКПРУ-3 пл. АБ, 8 П	0,63	0,093
Старобинское месторождение		
СрКРУ-1,2 гор., 1 СЗП	0,07	0,006
СрКРУ-1, гор. 305 м, 12 П	0,02	0,002
СрКРУ-1, 3 гор., 6 СВП	0,14	0,011
СрКРУ-2, 2 гор., 3 СЗП	0,12	0,009
СрКРУ-2, 3 гор., 5 СВП	0,16	0,013
СрКРУ-3, 2 гор., 12 ЮВП.	0,06	0,004
СрКРУ-3, 3 гор., 11 СВП.	0,21	0,051
СрКРУ-4, 3 гор., 9 СП.	0,27	0,069

В рудниках наблюдаются четыре вида газовыделений в горные выработки:

- обыкновенное - медленное непрерывное газовыделение из мелких трещин и пор породы;
- повышенное – резкое и кратковременное возрастание газовыделений из газонасыщенных зон, возникающее на фоне обычного;
- суффлярное - местное повышенное газовыделение из трещин и всякого рода пустот,

вскрытых горными выработками, в подавляющем большинстве случаев кратковременное (от нескольких минут до нескольких часов);

- внезапное - местное выделение большего, по сравнению с обычным, количества газа, с одновременным разрушением части приконтурного массива, а иногда и смещением его (обрушением, вывалом, выбросом породы).

Обыкновенные газовыделения, как показывают результаты исследований Медведева И.И., Красноштейна А.Е. и Поляниной Г.Д., незначительны и поэтому не оказывают существенного влияния на ведение горных работ в калийных рудниках.

Средняя газоносность калийных пластов невелика и составляет десятки доли кубометров газа на 1 кубометр породы.

Эффективная пористость соляных пород, в особенности сильвинитов и каменной соли, очень велика, а газопроницаемость весьма мала.

Газопроницаемость соляных руд в призабойных участках массива повышается незначительно. Увеличение газопроницаемости больше при отбойке руды взрывным способом, чем при комбайновом. Обычные газовыделения характеризуются небольшими объемами и не приводят к повышению концентрации горючих газов выше допустимых норм. Однако, проветривание тупиковых выработок, так же как и длинных очистных забоев, на сегодняшний день методически построено под данный вид газовыделений. Хотя доказана низкая вероятность загазования выработок при этом способе выделения газа.

Максимальная газопроницаемость соляных пород связана с контактами различных по минеральному составу слоев и прослоек, а в пределах их - с местами включения минералов, значительно отличающихся по своему составу от солей. Миграция природных газов из одного пласта в другой в нетронутом массиве и в период разработки практически отсутствует. Отсутствует также миграция газа из глубин массива. Значительный подток газа может осуществляться из трещин, вскрытых горными выработками, и по контактам солей с глинистыми прослоями. Из массива в горные выработки выделяется в основном свободный газ из соединенных между собой пор.

При разработке нескольких калийных пластов газовыделений в горные выработки из смежных пластов при отсутствии сквозной трещиноватости не наблюдается, что объясняется, с одной стороны, применяемой системой разработки, а с другой – физико-механическими свойствами солей.

На калийных рудниках, в отличие от угольных шахт, газовыделения из выработанного пространства незначительны. Многочисленные наблюдения в течение более 30 лет за составом рудничной атмосферы отработанных камер Соликамских калийных рудников показали, что горючие газы либо отсутствуют, либо их содержание не превышает сотых долей процента.

Тем не менее не исключены случаи значительных выделений газов. Они, в частности, могут быть вызваны деформацией и разрушением целиков и потолочин, а также повышенными и суффлярными выделениями.

Повышенные газовыделения происходят при вскрытии выработками горного массива в зонах, в которых, в силу физико-химических и механических изменений в локальной области, скопились небольшие по объему и с малым относительным давлением (до 5-10 атм.) газы.

Площади, на которых рассредоточены внутри массива достаточно равномерно газы, способные вызвать повышенное газовыделение, по размерам не превышают 100-150 м², они встречаются достаточно редко. Расстояние между площадями, занимаемыми скоплениями газов многократно больше их поперечных размеров. Значительных по объемам пустот здесь не наблюдается, газ приурочен в основном к глинистым прослойкам или включен в межкристаллическое пространство.

Занимаемые скоплениями газов площади рассредоточены в хаотическом порядке в продуктивной пачке пластов как по простиранию, так и по мощности ее.

Повышенное газовыделение прогнозировать наиболее затруднительно, так как оно начинается непосредственно в момент разрушения горного массива, однако, именно при этом коварном процессе газовыделений, как показывает практика, наиболее часто возникали негативные события (табл. 2).

Необходимо пересмотреть методологию организации контроля и управления газовым режимом рудников, нацелив ее на преодоление экстремальных условий в виде повышенных газопроявлений.

Суфлярные выделения связаны со скоплениями свободного газа, который заполняет относительно крупные полости в соляном массиве и находится под давлением. Они происходят при вскрытии этих пустот шпурами, скважинами, горными выработками или трещинами. В этих случаях газ, как правило, выделяется интенсивно. Продолжительность газовыделения зависит от объема газового скопления и размеров путей, по которым выходит газ.

Суфлярные выделения на калийных рудниках кратковременны и продолжительность их действия, в большинстве случаев, составляет минуты, реже часы. На Верхнекамских рудниках суфляры приурочены как к карналлитовому, так и к сильвинитовым пластам. При разработке карналлитового пласта в Соликамском руднике в отдельные месяцы было зарегистрировано до 177 случаев суфлярных выделений. Продолжительность действия большинства из них составляла несколько секунд. Объем выделившегося газа был, как правило, невелик. Силу таких небольших суфляров работники рудника определяют по звуку: хлопку, подобному выстрелу из ружья; звуку, напоминающему разрыв шланга со сжатым воздухом, и т.п. Рабочие отмечают ощущение холода, вызванное расширением газов.

Таблица 2. –Вспышки и взрывы горючих газов в рудниках Верхнекамского месторождения

Рудник	Участок дата	Вид аварии	Причина	Последствия
БКПРУ-2	Уклон ГКУ-1 28.10.69г.	вспышка	наличие открытого огня	получили терм. ожоги – 3 чел.
СПКРУ-2	Пласт АБ, 26.06.76 г.	-//-	то же	ожоги лица и рук- 1 чел.
БКРУ - 2	уклон ГУ-10, 15.04.75	-//-	то же	получили термические ожоги-2 чел.
БКРУ-3	уклон с пл. Кр.-II на пл. АБ 18.04.77 г.	-//-	то же	ожоги лица и рук – 2 чел.
БКРУ-1	Пласт Кр.-II 15.08.78 г.	-//-	то же	ожоги лица и рук – 2 чел.
СКРУ-1	пласт В, ГУ-11 11.10.78 г.	горение газа	взрывные работы	нет
СКРУ-1	уклон на пл.В 18.04.80 г.	то же	наличие открытого огня	нет
БКРУ-3	Г П У, 04.06. 1980 г.	горение газа, взрыв	то же	погибло 5 чел.
СКРУ-2	ГУ-10, 16.10. 1982 г.	вспышка	то-же	ожоги лица и рук- 1 чел.
БКРУ-1	ГУ-8, 15.01.1984 г.	-//-	то-же	ожоги лица и рук – 1 чел.
БКРУ-4	ГУ-4, 21.11. 1986 г.	-//-	то же	погибло 2 чел., ожоги 1 чел.
СКРУ-3	ГУ-5, 10.11. 1990 г.	-//-	то же	погибло 2 чел.,

				ожоги – 4 чел.
БКРУ-1	ГУ-5, 23.08. 1992 г.	-//-	то же	ожоги 1 чел.
БКРУ-1	Пл. Кр – 1 03.12. 1992 г.	-//-	то же	погибло 3 чел., ожоги 3 чел.

А. А. Черепенников считал, что давление, под которым находится газ, теоретически может достигать 40-50 атм. Зарегистрированный максимальный объем выделившегося газа составил $6,2 \text{ м}^3$.

Суфлярные выделения из силвинитовых пластов отмечены реже, чем из пласта В карналлитового состава. Однако чаще, чем обычно, они происходят на участках шахтного поля со значительным развитием пустот. Такие участки были отмечены и описаны в работах Г.Д. Поляниной на Первом Березниковском руднике в пределах 4-й и 5-й восточных панелей, приуроченных к сводчатой части, и на 2-й восточной панели, приуроченной к сводчатой части Березниковской брахиантиклинальной структуры. Пустоты представляли собой открытые трещины длиной до 5 м и шириной 6-8 см.

При вскрытии суфлярных скоплений газа шпурами или скважинами отмечаются толчки газа, выбросы штыба, а иногда и выбросы бурового инструмента.

Происходили кратковременные повышения концентрации горючих газов в районе бурения, а при проведении выработок комбайнами - в забое. Выделение газов происходит в большинстве случаев незаметно для персонала, особенно при работающем оборудовании.

Внезапные выделения газа (выбросы), как уже отмечалось, сопровождаются одновременным разрушением части массива и смещением ее в виде обрушения, вывала или выброса породы. На калийных рудниках наблюдаются два вида внезапного выделения газа: внезапные обрушения соли с выделением газа и внезапные выбросы соли и газа. В обоих случаях процессы динамичные, с массовым нарушением значительной части поверхностей массива и горных выработок. Его, несомненно, можно отнести к аварийной ситуации, при которой принимаются не стандартные, а специальные меры.

Воздействие этого процесса на формирование атмосферы подземных пространств рудников весьма велико, так, например, при массовом обрушении во время землетрясения на СКПРУ-2 произошло выделение более $900\ 000 \text{ м}^3$ горючих газов. Нарушилась вентиляция всего рудника, а разгазирование горных выработок длилось 16 суток.

Внезапные выбросы происходят весьма редко, их последствия ощутимы настолько, что дальнейшая работа приостанавливается.

Таким образом, многолетними исследованиями доказано, что формирование газового состава атмосферы калийных рудников имеет ряд специфических особенностей:

- незначительная газопроницаемость массива, приводящая к тому, что выделение газа происходит в основном непосредственно при разрушении пород;
- большие колебания обычных газовыделений (иногда приводящие к повышенным показателям), связанные со значительной неравномерностью газоносности массива по пластам и шахтному полю;
- практическое отсутствие скоплений газа в опасных концентрациях в отработанном пространстве и на исходящих струях блоков, добычных участков, панелей, пластов и рудников;
- наличие опасности повышенных газовыделений, а также внезапных выбросов газа и пород.

В силу этих особенностей наибольшую опасность представляют зоны ведения горных работ в районах, склонных к повышенным газовыделениям. Этот факт подтверждают статистические данные (см.табл. 2). Пересмотр методологии организации контроля и управления газовым режимом рудников в свете выявленных особенностей

позволяет повысить безопасность работ в калийных рудниках.

Список литературы

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1991. 600с.
2. Адамов Г. А. Приближенный расчет гидравлического сопротивление и движения газов и жидкостей в трубопроводах. Вопросы разработки и эксплуатации газовых месторождений. М., 1953. С. 231-264.
3. Акт шахтных опытно-промышленных испытаний способа и средств разгазирования забоя и тупиковых горных выработок на солевом горизонте на комбайновом комплексе № 246 горного участка №5 рудника БКРУ-4 АО «Уралкалий». Березники, 1994. 32с.
4. Игнатенко К.П., Брайцев А.В., Эйнер Ф.Ф., Вентиляция, подземные пожары и горноспасательное дело. – М.; Недра, 1975

3 Энергоэффективность вентиляции и рациональное управление

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

Многолетняя эксплуатация рудников Верхнекамского и Старобинского месторождений сопровождалась постоянными исследованиями состояния проветривания. Динамика развития производственных мощностей, расширение горных работ, техническое перевооружение - все это существенно влияло на изменение вентиляционных сетей, количества воздуха потребного для проветривания, и применение методов управления вентиляцией.

Современное состояние проветривания рудников может быть охарактеризовано данными, приведенными в табл. 1.7 -1.9. Общая потребляемая электроэнергия двигателей вентиляторов главного проветривания (ГВУ) составляет более 29 700 кВт·ч.

В среднем около 3000 кВт·ч на каждый рудник. Поскольку время работы ГВУ равно календарному году, т.е. 365 сут. = 8760 часов, то общие затраты электроэнергии на проветривание равны 260,17 млн. кВт·год. Суммарное добываемое количество руды всеми калийными рудниками за год составляет не более 55 млн. т, следовательно, на каждую добытую тонну руды приходится 4,7 кВт электроэнергии, затраченной на ГВУ.

Производительность ГВУ рудников составляет от 300 до 550 м³/с, в то же время в рудник подается от 150 до 460 м³/с. Внешние утечки воздуха колеблются от 50 до 170 м³/с, или от 10 до 50 % от производительности ГВУ. Внутрирудничные утечки также достигают больших размеров – до 30-40 %.

Потери электроэнергии на внутрирудничные и внешние утечки воздуха в виде дополнительной мощности электродвигателей ГВУ, можно определить через величину утечек, выраженную в процентах к производительности вентиляторов ГВУ (см.табл.1.10).

Суммарные утечки воздуха, составляющие вентиляционный резерв, имеют величину, равную половине производительности ГВУ. Значит, из 4,7 кВт, приходящихся на тонну руды, 2,35 кВт не используется в проветривании.

Таблица 1 - Характеристика вентиляции рудников Старобинского месторождения 1985 – 2012 г.г.

Характеристика	СгКРУ-1	СгКРУ-2	СгКРУ-3	СгКРУ-4
Производительность ГВУ, м ³ /с	516,7	466,7	466,7	611,7
Потребляемая двигателями ГВУ электроэнергия, кВт·ч	4100	3200+2600	2670	2300+3100
Количество воздуха, поступающего в шахту, м ³ /с	450,1	400	410,1	433,3
Внешние утечки воздуха, %	13	17	16	41
Внутренние утечки, %	12	15	14	12

Таблица 2 - Характеристика вентиляции рудников Верхнекамского месторождения, г. Березники.

Показатель	БКПРУ-1	БКПРУ-2	БКПРУ-4
Производительность ГВУ, м ³ /с	516,6	393,3	482,1
Потребляемая двигателями ГВУ электроэнергия, кВт·ч	3400,1400 1600	1610	3150
Количество воздуха, поступающего в шахту, м ³ /с	466,6	289,6	440,9
Внешние утечки воздуха, %	9	28	9
Внутренние утечки воздуха, %	41	12	34

Таблица 3 - Характеристика вентиляции калийных рудников Верхнекамского месторождения, г.Соликамск.

Показатель	СПКРУ-1	СПКРУ-2	СПКРУ-3
Производительность ГВУ, м ³ /с	533,3	383,3	433,3
Потребляемая двигателями ГВУ электроэнергия, кВт·ч	3000	1500	2670
Количество воздуха, поступающего в шахту, м ³ /с	151	233,3	250,1
Внешние утечки воздуха, %	69	51	53
Внутренние утечки воздуха, %	17	20	12

В то же время используются вентиляторы местного проветривания (ВМП), которые имеют мощность от 7 до 24 кВт. Время работы их также практически постоянно, а количество работающих ВМП приведено в табл. 5

Таблица 4 - Утечки воздуха в калийных рудниках.

Рудник	Внутренние утечки воздуха, %	Внешние утечки воздуха, %	
БКПРУ-1	41	9	
БКПРУ-2	12	28	
БКПРУ-4	34	9	
СКПРУ-1	17	69	
СКПРУ-2	20	51	
СКПРУ-3	12	53	
СгКПРУ-1	12	13	
СгКПРУ-2	15	17	
СгКПРУ-3	14	16	
СгКПРУ-4 (2 гор)	12	42	
СгКПРУ-4 (3 гор)	14	38	
В среднем	18,5	31,5	Σ= 50%

Таблица 5 - Количество вентиляторов местного проветривания рудников в различные периоды

Рудник	Количество ВМП в период	
	1985-1990 гг.	1990-1999 гг.
СКПРУ-1	21-25	16-18
СКПРУ-2	23-31	12-18
СКПРУ-3	31-34	27-29
БКПРУ-1	34-37	35-39
БКПРУ-2	27-29	32-34
БКПРУ-4	12-14	32-37
СгКПРУ-1	19-23	27-29
СгКПРУ-2	23-25	23-26
СгКПРУ-3	19-23	23-17
СгКПРУ-4	13-16	25-27
Итого в сумме:	230-250	225-235

На калийных рудниках встречаются примеры классических схем проветривания: центральная и фланговая. Наиболее устойчивой, надежной и характеризующейся минимальными утечками воздуха считается фланговая схема. Однако для калийных рудников, обладающих сравнительно небольшими аэродинамическими сопротивлениями (от 0,00002 до

$0,2 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$), центральная схема стала наиболее распространенной.

Имеют место особенности проветривания рудников большой мощности, присущие и калийным рудникам:

1. Требуется большое количество воздуха.
2. Сложная топология вентиляционных сетей с множеством потребителей воздуха.
3. Большие внутрирудничные и внешние утечки воздуха.
4. Значительные затраты энергии на обеспечение проветривания (табл. 6).

Изучение аэродинамических сопротивлений рудников выполнялось коллективами под руководством И.И. Медведева, А.Е. Красноштейна, Н.И. Алыменко, Н.Н. Мохирева. Доказано, что присущие вентиляционным сетям сопротивления возникают вследствие достаточно больших суммарных проходных сечений аэродинамически связанных горных выработок. На рис. 1.13 приведены свободные сечения по длине вентиляционного пути. Средняя величина их колеблется от 60 до 80 м², однако очистные или подготовительные одиночные выработки имеют проходное сечение в 3-4 раза меньшее. В то же время проходные сечения близлежащих выработок зон ведения горных работ, непосредственную связанных с очистными, имеют проходные сечения 2-2,5 раза большее средней величины.

Таблица 6 - Затраты энергии на проветривание и их доля в энергетическом балансе потребляемой рудниками электрической и тепловой энергии.

Рудник	Энергия, потребляемая рудником, кВт·год	Энергия, потребляемая двигателями ГВУ, кВт·год, (% в потреблении рудника)	Энергия, потребляемая калориферными установками, кВт·год, (% от общей потребления энергии рудника)
БКПРУ- 1	95046000	27156470 (28,5)	7156470 (7,5)
БКПРУ- 2	94879230	14024760 (14,7)	5640200 (5,1)
БКПРУ– 4	101567340	2828070 (27,8)	6635030 (6,6)
СКПРУ- 1	44678480	29673110 (66,4)	3245020 (7,2)
СКПРУ–2	79020330	16897350 (21,3)	5489030 (6,9)
СКПРУ–3	89254700	15438330 (17,2)	2789080 (3,1)
СгКПРУ-1	92136890	27156470 (29,5)	2359930 (2,6)
СгКПРУ–2	86000230	14236800 (16,6)	2134440 (2,5)
СгКПРУ–3	87450490	15898980 (18,2)	2215900 (2,5)
СгКПРУ–4	114005600	33678930 (29,5)	2589050 (2,3)

Таким образом, разница сечений между очистными и окружающими их выработками может составить 6 -10 раз. Соответственно и сопротивление этих путей движения воздуха существенно отличается.

Наибольшие сопротивления присущи вентиляционным стволам, где проходные сечения не более 37 м², и вентиляционным каналам ГВУ, где сечения снижаются до 18-24 м².

Аэродинамическое сопротивление горных выработок, ввиду отсутствия крепи, характеризуется сравнительно небольшими значениями коэффициента α , находящимися в пределах 0,0004-0,0014, а коэффициент α конвейерных выработок возрастет до 0,002.

Особенности проветривания калийных рудников, возникающие при выполнении нормируемых показателей (расхода воздуха в местах ведения горных работ), следующие:

- подача огромного количества воздуха в рудник - до 400-500 м³/с;
- значительная разветвленность вентиляционной сети и многочисленные пути утечек воздуха;
- большая величина эквивалентного отверстия рудников (5-15м²).

Эти особенности характеризуют то, что количество воздуха, проходящего по выработкам по длине вентиляционного пути, постепенно снижается и имеет минимальное значение в очистных и подготовительных выработках. А затем опять возрастает. Это же характеризуется и средней скоростью воздушных потоков, которая в основных выработках вентиляционного пути имеет показатели от 1,5 до 4 м/с, а в районах ведения горных работ в 7-10 раз меньше.

В то же время суммарные объемы аэродинамически связанных выработок, по которым происходит перемещение воздуха в рудниках представленные на, дают возможность представить, каковы объемы использования воздуха. Суммарные объемы путей движения воздуха в рудниках, без учета путей утечек воздуха, составляют не менее 6 100 000 м³. Поэтому время полного или однократного воздухообмена в целом для калийного рудника, при существующих нормах, на практике составляет около 4 часов.

Очистные и подготовительные выработки составляют менее сотой доли всего объема подземных пространств рудника. При этом основные объемы подконтрольных выработок находятся рядом, там сосредоточены огромные массы воздуха - до 350 000 м³ в районе каждой рабочей зоны.

Воздухообмен в выработках со столь значительными объемами происходит более 3

часов в выработках рабочих зон и от 0,3 до 1 часа в выработках панелей и главных направлений, в то время как в очистных и подготовительных воздухообмен занимает менее получаса. Столь существенная разница в обмене воздуха приводит к тому, что воздух, интенсивно отводимый из пространств у очистных забоев, медленно диффундирует в окружающий объем. Тем самым не привносятся существенные изменения в газовую обстановку непосредственно вблизи призабойных пространств. Описываемая картина сложилась ввиду объективных причин, характеризующих существующую методологию проветривания.

Воздушно-депресссионные съемки рудников, проводимые регулярно с начала 60 –х годов показали, что основные подземные утечки воздуха в рудниках, как правило, приурочены к участковым штрекам, подверженным влиянию очистных работ. Коэффициенты доставки воздуха к очистным выработкам не превышают 0,4–0,2, а коэффициенты использования воздуха в выработках не более 0,5. Прослеживается стабилизация данных показателей, так как поддержание более высоких значений коэффициентов сопряжено с массой трудовых и энергетических затрат. При этом снижение показателей уже является недопустимым, в противном случае подача воздуха, находящаяся практически на нижнем нормируемом пределе, станет недостаточной.

Независимо от того, по какой схеме проветривается рудник - фланговой или центральной, основная масса утечек зависит от технологии подготовки в зонах ведения работ. Существующие пути сокращения утечек воздуха практически исчерпали себя. Особенно это касается, как показал в своих работах Н.Н. Мохирев, отрицательного способа управления воздухораспределением. Из-за того, что применяются большие сечения горных выработок, а также множество сбоек (несколько сотен) между входящими и исходящими струями, при существующем распределении депрессии по длине вентиляционного пути происходит снижение поступления воздуха в рабочие зоны. Утечки, благодаря тем же причинам, практически не снижаются отрицательными способами регулирования.

В настоящее время на калийных рудниках принята панельная или панельно-блоковая подготовка шахтных полей. Пласты в пределах панелей и блоков отрабатываются камерами (Верхнекамское и Старобинское месторождения) или длинными столбами (Старобинское месторождение). Выбор схемы проветривания панелей зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- обеспечение минимальных утечек воздуха и минимального количества подготовительных выработок и вентиляционных сооружений,
- обеспечение устойчивости проветривания, безопасности работ и путей эвакуации рабочих в аварийных ситуациях.

Проветривание рудников осуществляется ГВУ, оборудованными вентиляторами ВРЦД-4,5, ВЦД-47 "Север", ВЦД-47У производительностью до 500-600 м³/с и давлением до 800 даПа.

Ввиду одновременной отработки нескольких пластов (АБ, Кр-II и В - Верхнекамское месторождение) и горизонтов (2 и 3 - Старобинское месторождение) на калийных рудниках, большой разбросанности горных работ в шахтном поле (расстояние между отдельными рабочими участками достигает 12-15 км), трудности изоляции выработанных пространств, имеющих огромные размеры (десятки и даже сотни миллионов кубических метров), создается чрезвычайно сложная вентиляционная сеть со множеством ветвей и практически нерегулируемой депрессией выработок.

Трудность управления такой сетью состоит и в том, что ее полное аэродинамическое сопротивление не превышает 0,01 Н·с²/м⁸, а сопротивление отдельных участков, включая целые панели, - 0,03 Н·с²/м⁸. Незначительное аэродинамическое сопротивление выработок обуславливает небольшие потери депрессии на отдельных участках вентиляционной сети (см.рис. 1.19). Нередки случаи, когда вся депрессия панели составляет 4-5 даПа, а иногда и 1-2 даПа при количестве поступающего на панель воздуха 800-1200 м³/мин.

Список литературы

1. Кирин Б.Ф., Диколенко Е.Я., Ушаков К.З. Аэрология подземных сооружений Липецк: Липецкое издательство, 2000.
2. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. ГОСТ 5976–90 «Вентиляторы радиальные общего назначения. Общие технические условия».
4. Стандарт ИСО 5801 «Вентиляторы промышленные. Испытания с использованием стандартизированного оборудования». ISO 5801. Industrials fans – Performance testing using standardized airways.
5. Чебышева К.В. Аэродинамические характеристики малогабаритных центробежных вентиляторов ЦАГИ.– В сб. Промышленная аэродинамика. Вып. 29. М. : Машиностроение, 1973.
6. ГОСТ Р «Вентиляторы промышленные. Показатели энергоэффективности». Окончательная редакция.
7. ГОСТ Р 54413 «Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности асинхронных трехфазных короткозамкнутых двигателей (IE коды)».
8. Стандарт ИСО 12759 «Классификация вентиляторов по эффективности». ISO 12759 Fans – Efficiency classification for fans.
9. Регламент комитета ЕС. Commission Regulation (EU) № 327/2011 of 30 March 2011.
10. ГОСТ 10921–90 «Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний».

4 Концепция проветривания рудников

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

Большие объемы выработок, значительная разветвленность вентиляционной сети, многообразии схем проветривания рабочих блоков и панелей - все это приводит к необходимости широкого использования вентиляторов местного проветривания (ВМП).

Наряду с обычными установками местного проветривания применение получили вентиляторы, работающие без перемычки (вентиляторы-эжекторы). Благодаря незначительному сопротивлению, они обладают высоким коэффициентом эжекции, равными 3-4, а иногда и выше. Однако, некоторые существенные недостатки использования их не позволяют перейти к их массовому применению. К недостаткам относятся:

- неопределенные (постоянно изменяющиеся в различных условиях (сечения горных выработок) аэродинамические характеристики;

- рециркуляция, возникающая в горной выработке при работе вентиляторов-эжекторов;

- проблема реверсирования воздушных потоков в горных выработках с вентиляторами-эжекторами.

Поэтому для условий калийных рудников разработаны подземные передвижные вентиляторные установки (ППВУ), обладающие преимуществами вентиляторов-эжекторов (коэффициент эжекции до 4-5) и имеющие постоянные аэродинамические характеристики при давлении от 10 до 200 Па.

Правилами безопасности установлено:

- вентиляция шахты должна осуществляться так, чтобы отдельные блоки и камеры имели независимое друг от друга проветривание за счет общешахтной депрессии и чтобы в случае необходимости некоторые блоки и камеры могли быть выключены из общей схемы без нарушения проветривания других блоков, камер и участков. Таким образом, подразумевается, что шахтная вентиляционная сеть состоит из множества параллельных выработок, но реальная топология сети значительно сложнее:

- в отдельных случаях допускается последовательное проветривание не более двух очистных камер (блоков, лав), причем необходимо принимать меры (добавочная струя свежего воздуха, орошение, водяные туманы, заслоны) для обеспечения во второй камере требуемого качественного состава воздуха. (см.табл 1).

Таблица 1 - Примеры последовательного проветривания горных работ

Наименование места ведения работ	Кол-во комбайнов	Выполняемая операция	Способ проветривания
БКПРУ-1, 10 ВП	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.
БКПРУ-1, 12 ВП	3	2- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 1- паралл.-последов.
БКПРУ-2, 14 ВП	4	2- очистные, 2- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.
БКПРУ-2, 15 ВП	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.
СКПРУ-1, 4 СП	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.

СКПРУ-2, 4 ЗП	3	2- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 1- паралл.-последов.
СКПРУ-3, 8 П	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.
СКПРУ-3, 6 П	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.
СгКПРУ-1, 14 ЗП 3 –й гориз.	2	1- очистные, 1- подготов.	2- паралл.-последов.
СгКПРУ-2, 12 П 4-й гориз.	4	3- очистные, 1- подготов.	2- последовательно, 2- паралл.-последов.

Разбросанность большого числа забоев существенно усложняет структуру вентиляционных сетей (см.табл.2)

Таблица 2 - Очистные и подготовительные забои рудников.

Рудник	Количество забоев в период		Количество забоев
	1985-1990 гг.	1990-1999 гг.	
СКПРУ-1	21-25	16-18	14-15
СКПРУ-2	23-31	12-18	12-20
СКПРУ-3	31-34	27-29	16-21
БКПРУ-1	34-37	35-39	28-30
БКПРУ-2	27-29	32-34	25-28
БКПРУ-4	12-14	32-37	23-27
СгКПРУ-1	19-23	27-29	19-22
СгКПРУ-2	23-25	23-26	20-22
СгКПРУ-3	19-23	23-17	19-21
СгКПРУ-4	13-16	25-27	15-19

На основании теоретических и экспериментальных исследований доказана безопасность применения рециркуляционного способа проветривания.

Испытания проводились в середине 70-80-х годов, они носили характер опытных, поэтому сроки ограничивались несколькими неделями. Объемы испытаний имели как общерудничные, так и локальные масштабы. В рециркуляцию включались вентиляционные сети целых рудников (СКПРУ-1), отдельные группы панелей (БКПРУ-1, 4-6 ВП) и локальные зоны ведения горных работ (СКПРУ-2, 3 СЗП). В 90-х годах проведены исследования по рециркуляции гор. 305 м на Солигорском руднике СгКПРУ-1. На повторное использование при рециркуляции направлялось от 20 до 45 % количества воздуха, участвующего в проветривании. Повсеместно выполнялись сотни и тысячи замеров. Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что рециркуляционное проветривание рудников и отдельных их участков не только не снижает качественных показателей рудничной атмосферы, но и при правильной организации способствует резкому повышению эффективности вентиляции рабочих зон.

Многолетними исследованиями доказано, что технология проветривания неразрывно связана с технологиями проходки, транспортировки и закладки полезного ископаемого. А комплексность применения технологических решений – залог достижения положительных результатов в энергосбережении. Недопустимо, что затраты энергии на проветривание, отнесенные к тонне добытой руды, почти в два раза превышают затраты на отбойку руды комбайнами (соответственно 4,7 и 2,3 кВт) и непрерывно растут.

Допускаемые действующими нормативными актами и правилами безопасности вентиляционные резервы практически исчерпаны. Поэтому требования дальнейшего повышения эффективности проветривания при снижении затрат материальных и

трудовых ресурсы сводятся к следующему:

совершенствование правил безопасности в части управления воздушными потоками и применения (расширения) различных энергосберегающих средств и способов проветривания;

- разработка надежных и малозатратных методов повышения коэффициента доставки воздуха к зонам ведения горных работ и коэффициента его использования с 0,3-0,4 до 0,7-0,8;

- разработка научно обоснованной стратегии в размещении и применении вентиляторных установок и других источников тяги;

- разработка простых, надежных, безопасных и экономических схем проветривания.

Газоносность пластов и газообильность выработок калийных рудников Верхнекамского и Старобинского месторождений имеет ряд существенных особенностей. В силу этой специфики, для калийных рудников во многом неприемлемы традиционные методы оценки реальной газовой опасности, существующие подходы к обеспечению нормализации газовой среды, методы обнаружения газа и контроля его содержания в атмосфере горных выработок. Поэтому ведение и соблюдение газового режима на калийных рудниках требует разработки и внедрения комплекса специальных мер, способных обеспечить реальную безопасность ведения горных работ.

На калийных рудниках целесообразно использовать новые подходы к оценке реальной газовой опасности и ее пространственной и временной локализации.

Результаты статической обработки материалов комплексных исследований газоносности по всем пластам и междупластьям Верхнекамского и Старобинского месторождений, выполненным по стандартным методикам в течение 11 лет, представлены в табл. 2.1. По этим данным, видно, что газоносность пластов сильвинитового состава достаточно низка (исключение составляет пласт В на СКПРУ-2. Газоносность карналлитового пласта выше сильвинитовых в 6-8 раз.

Статистика регистрируемых выделений газа, ведущаяся как на рудниках (данные за последние 24 года по Верхнекамскому месторождению, выборка 31232 измерения приборами эпизодического действия типа ГИК-1М, эксплазиметр горноспасательный, и за 6 последних лет по Старобинскому месторождению, выборка 2982 измерения приборами эпизодического действия типа ШИ-1 и ШИ-2), так и в исследовательских лабораториях УралВНИГа, Горного института УрО РАН, ПГТУ и БелГорХимПром подтверждает тот факт, что выделения газов наблюдаются только при проходке выработок. Газовыделения практически не происходят, если не нарушается сплошность массива.

Исследованиями одновременно определялся состав газов, выделяющихся из массива, и относительная газообильность проходимых горных выработок. С этой целью выполнено более 87 550 замеров. Проведены полномасштабные годовые газоздушные съемки (начиная с 1993 г.), в ходе которых замерялись концентрации горючих и ядовитых газов во входящих и исходящих струях, расходы воздуха и количество отбитой горной массы в каждой выработке и по руднику в целом.

Таблица 3 - Газоносность пластов, горизонтов и междупластий Верхнекамского и Старобинского месторождений

Рудник	Пласт или горизонт (состав руды)	Газоносность по условному метану, м ³ /м ³	
БКПРУ-1	В (карналлит)	1,72-1,83	
	А-Б (сильвинит)	0,25-0,32	
	А-Кр I (каменная соль)	0,05-0,07	
	Кр I (сильвинит)	0,21-0,30	
	Кр I – Кр II(каменная соль)	0,05-0,12	
	Кр II (сильвинит)	0,15-0,16	
	КрII–КрIII(каменная соль)	0,05-0,08	
БКПРУ-2	Кр III (сильвинит)	0,11-0,13	
	А-Б (сильвинит)	0,26-0,36	
	А-Кр I (каменная соль)	0,04-0,06	
	Кр I (сильвинит)	0,12-0,13	
	Кр II (сильвинит)	0,17-0,19	
БКПРУ-4	Кр III (сильвинит)	0,14-0,17	
	А-Б (сильвинит)	0,27-0,37	
	Кр I (сильвинит)	0,22-0,31	
	Кр I – КрII(каменная соль)	0,09-0,11	
	Кр II (сильвинит)	0,13-0,16	
СКПРУ-1	Кр III (сильвинит)	0,12-0,15	
	В (карналлит)	1,42-1,77	
	А-Б (сильвинит)	0,28-0,31	
	Кр I (сильвинит)	0,26-0,34	
	Кр II (сильвинит)	0,12-0,17	
СКПРУ-2	Кр III (сильвинит)	0,09-0,14	
	В (сильвинит)	1,12-1,15	
	А-Б (сильвинит)	0,26-0,33	
	А-Кр I (каменная соль)	0,05-0,06	
	Кр I (сильвинит)	0,20-0,23	
	Кр II (сильвинит)	0,12-0,19	
СКПРУ-3	Кр III (сильвинит)	0,10-0,15	
	А-Б (сильвинит)	0,23-0,28	
	А-Кр I (каменная соль)	0,04-0,09	
	Кр I (сильвинит)	0,20-0,22	
	Кр II (сильвинит)	0,10-0,18	
	КрII–КрIII(каменная соль)	0,05-0,09	
СКПРУ-3	Кр III (сильвинит)	0,14-0,17	
	Рудник	Пласт или горизонт (состав руды)	Газоносность по условному метану, м ³ /м ³
	СгКПРУ-1	2 ^н горизонт	0,31-0,45
		3 ^н горизонт	0,37-0,48
	СгКПРУ-2	2 ^н горизонт	0,31-0,42
3 ^н горизонт		0,32-0,48	
СгКПРУ-3	2 ^н горизонт	0,30-0,46	
	3 ^н горизонт	0,33-0,53	
СгКПРУ-4	2 ^н горизонт	0,35-0,45	
	3 ^н горизонт	0,37-0,58	

В процессе выполнения съемок произведено более 17500 замеров. Обработка результатов исследований проводилась на газовых хроматографах.

Расчет погрешности измерения концентрации искоемых веществ в воздухе проводят согласно ГОСТ 12.1.016-89. Нижний предел определения концентрации газов составлял не менее 10^{-4} об. %.

Исследования выполнены на десяти калийных рудниках, из них на шести Верхнекамских регулярно с периодичностью раз в три года проведены полномасштабные газозвоздушные съемки.

Следует отметить, что наиболее подробно исследовались газовыделения в выработках, находящихся в отработке, а также расположенных непосредственно рядом с проходимыми выработками, т.е. в рабочих зонах.

Методика проведения газозвоздушной съемки рудника включала отбор проб воздуха и определение его расхода на входящих и исходящих струях в целом рудника, панелей и находящихся в границах панелей блоков, рабочих зон и непосредственно в горных выработках, находящихся в проходке.

Измерения проводились:

- при прямом порядке отработки панели (блока) на выемочном штреке на расстоянии 50 м от последней рабочей камеры в сторону выработанного пространства и на вентиляционных штреках на расстоянии 50 м от последней рабочей камеры;

- при обратном порядке отработки на вентиляционных штреках на расстоянии 50 м в направлении выработанного пространства от последней рабочей камеры, а с другой стороны - на расстоянии 100 м в направлении неотработанного массива от первой рабочей камеры на выемочном штреке.

В пределах горных выработок, находящихся в проходке, замеры выполнялись в 2-3 сечениях непосредственно в призабойной части, где расположено очистное оборудование и 3-5 сечениях по длине выработки, включая устье.

При проведении газозвоздушных съемок определялись концентрации горючих и ядовитых газов во входящих и исходящих струях, расходы воздуха и количество отбитой горной массы в каждой рабочей зоне, выработке и по руднику в целом. Это является исходной информацией для выявления параметров относительной газообильности.

Обработка проб выполнялась на хроматографах газовых «Цвет 100» серии 102 и «Цвет 500» с детектором ионизации в пламени. Основные результаты исследований представлены на рис. 2.1–2.4 и в табл. 2.2.

Статистическая обработка, построенная на результатах замеров, в которых обнаружено присутствие горючих или ядовитых газов, дает представление об обычных газозвыделениях. Поэтому средние показатели содержания газов в пробах и параметры относительной газообильности позволяют определить уровень постоянно действующих газозвыделений и оценить степень их опасности.

Средний уровень обычных выделений горючих газов, полученный в результате исследований в последние 20-25 лет, приведен в таблице 3. Горючие газы представлены смесью углеводородов (условный метан) и водорода. Содержание каждого компонента исследовалось отдельно. При обычных газозвыделениях горючих газов преобладает метан. Содержание водорода по отношению к метану на разных рудниках и шахтопластах колеблется и имеет следующие соотношения (водород/метан):

БКПРУ-1, Кр-II = (1/5); СКПРУ-1, АБ = (1/4); БКПРУ-1, В = (1/6);

БКПРУ-2, Кр-II = (1/8); СКПРУ-2, АБ = (1/12);

БКПРУ-4, Кр-II = (1/6); СКПРУ-4, АБ = (1/9);

СКПРУ-1, Кр-II = (1/4); СКПРУ-1, АБ = (1/6); СКПРУ-1, В = (1/7);

СКПРУ-2, Кр-II = (1/6); СКПРУ-2, АБ = (1/6); СКПРУ-2, В(с.с.) = (1/2);

СКПРУ-3, Кр-II = (1/7); СКПРУ-3, АБ = (1/9).

На рудниках Старобинского месторождения водорода практически не выделяется и весь природный газ состоит из метана и его гомологов.

Оксид углерода, выделяющийся при разрушении массива, имеет также небольшие концентрации. Заметно выделяется на общем, достаточно одинаковом уровне шахтопласт АБ рудника БКПРУ-4. Здесь наблюдаются аномальные зоны с повышенным выделением СО. Оно происходит на фоне выделения сероводорода и поэтому более опасно. При этом уровень концентрации СО в выделившихся газах, как на этом шахтопласте, так и на других рудниках и пластах, значительно меньше допустимой концентрации.

Сероводород обнаруживается на отдельных шахтопластах см. таблицу 4. Особенно высоки концентрации на шахтопластах АБ рудников БКПРУ-2, СКПРУ-2, СКПРУ-3 и шахтопласте В сильвинитового состава рудника СКПРУ-2. При обычных газовыделениях концентрация сероводорода в 3-5 раз ниже допустимой. Однако в процессе исследований наблюдались отдельные случаи, когда, концентрации сероводорода превышали допустимые значения.

Таблица 4 - Среднестатистическая относительная газообильность (m^3/t) горных выработок Верхнекамского месторождения калийных солей

Рудник	Пласт	Газообильность по условному метану	Газообильность по сероводороду
БКПРУ-1	Кр-П	0,00232	отсутствует
		0,00281	отсутствует
	АБ	0,02169	0,003922
		0,02143	0,003877
	В	0,03611	0,000212
		0,03634	0,000235
БКПРУ-2	Кр-П	0,00211	отсутствует
		0,00202	отсутствует
	АБ	0,02222	0,002912
		0,02291	0,003198
БКПРУ-4	Кр-П	0,00245	отсутствует
		0,00250	отсутствует
	АБ	0,02500	0,002615
		0,02319	0,002770
СКПРУ-1	Кр-П	0,00196	отсутствует
		0,00185	отсутствует
	АБ	0,02622	0,004044
		0,02433	0,004100
	В	0,01617	0,000122
		0,01634	0,000111
СКПРУ-2	Кр-П	0,00238	отсутствует
		0,00250	отсутствует
	АБ	0,02169	0,002912
		0,02912	0,003198
	В (сильвинит)	0,02503	0,003877
		0,02319	0,003922
СКПРУ-3	Кр-П	0,00233	отсутствует
		0,00242	отсутствует
СКПРУ-3	АБ	0,02366	0,004111
		0,02237	0,004003

Содержание углекислого газа в пробах воздуха на всех шахтопластах

незначительное по сравнению с допустимым. А серьезных отличий между пробами воздуха из разных рудников или пластов практически не наблюдается. CO₂ не оказывает влияния на состояние атмосферы калийных рудников.

Исследовалась неравномерность выделений газов при отбойке полезного ископаемого. Результаты исследований неравномерности обычных газовыделений приведены в (см.табл.5)

Таблица 5 - Неравномерность газовыделений

Гориз., пласт	Пределы наблюдаемых газовыделений, м ³ /мин		Газоносность по горючим газам, м ³ /м ³	Коэффициент неравномерности обыкновенных газовыделений
	нижний	верхний		
Старобинское месторождение (горизонты)				
2 гор.	0,00001	0,0061	0,06 – 0,12	1,56
3 гор.	0,00082	0,0488	0,14 – 0,21	1,61
Верхнекамское месторождение (отрабатываемые пласты)				
Кр-II	0,0012	0,0721	0,21-0,29	1,62
АБ	0,0480	0,1322	0,33-0,71	1,57
сильв.	0,0426	0,1864	0,45-0,88	1,90
В карн.	0,0722	0,4927	1,39-1,67	1,81

Основным показателем неравномерности является коэффициент K_н:

$$K_n = 1 + 3 a / Q_{\text{газ}}, \quad (1)$$

где Q_{газ} – величина обыкновенного газовыделения, определяемая из длительных (до 6 часов) измерений; a – среднеквадратичное отклонение замеренных величин газовыделений в пределах одной выработки, одного пласта.

Неравномерность обыкновенных газовыделений, происходящих в пределах рабочих зон, колеблется от 1,56 до 1,81. Это достаточно сильная неравномерность, в результате которой на некоторое время может существенно ухудшиться газовая обстановка в пространстве выработки непосредственно при разрушении горного массива.

Таким образом, можно констатировать, что газообильность горных выработок, благодаря незначительным концентрациям горючих и ядовитых газов при обычных газовыделениях, крайне мала. Но это не снижает опасности, так как при нарушении проветривания, особенно забоев горных выработок, возможно образование газовых скоплений. Если горные работы пересекут зону, где проявятся повышенные газовыделения, то опасность газовых скоплений возрастет.

Общее количество газа, выделяемого в рудниках, настолько мало, что для его разжижения достаточно:

- расхода воздуха не более 4000 м³/мин для рудников Верхнекамского месторождения;

- расхода воздуха 800 м³/мин для рудников Старобинского месторождения

На сегодняшний день в эти рудники поступает от 18000 до 25000 м³/мин.

Следовательно, газовая обстановка в целом по рудникам не может вызывать каких-либо опасений. Воздух в рудник поступает в достаточном количестве и даже превышает требуемое в 4–6 раз на Верхнекамском месторождении и 20–25 раз на Старобинском.

Практика эксплуатации рудников подтверждает отсутствие реальной опасности за пределами зон ведения горных работ, так как за всю историю работы не было случаев

обнаружения сколь-нибудь заметных концентраций горючих газов на исходящих струях панелей, крыльев, горизонтов и рудников.

Таким образом, газовая обстановка в различных зонах калийных рудников крайне неоднородна. Во всем подземном пространстве рудника, за исключением зон ведения горных работ, во-первых, газовыделения практически не наблюдаются, во-вторых, концентрация газов в исходящих струях настолько мала, что не регистрируется современными приборами, в-третьих, расчетное количество воздуха, подаваемое в рудники по данному фактору, завышено более чем в 4 раза по Верхнекамскому и 20 раз по Старобинскому месторождениям. В зонах ведения горных работ, особенно в призабойных пространствах горных выработок, имеют место выделения горючих газов. Именно это обстоятельство вносит решающий вклад в понятие газовой опасности калийных рудников. Только в пределах рабочих зон и особенно в призабойных частях тупиковых выработок возможны скопления газов, что при недостаточно эффективном проветривании это может привести к аварийным ситуациям.

Список литературы

1. Алыменко Н.И., Минин В.В. Чекмасов А.И., Норин А.А. Методика проведения шахтных испытаний передвижной подземной вентиляторной установки (ППВУ) на калийном руднике (БКРУ-1 АО «Уралкалий») 1990. 17.
2. Алыменко Н.И., Минин В.В. Подземные вентиляторные установки для нормализации вентиляции труднопроветриваемых зон. Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градоромышленных агломераций: Тез. Докл. Междунар. Симпоз. М.; Пермь 1995. С. 6-7

5 Предотвращение образования опасных газовых скоплений в тупиковых выработках

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

При обыкновенном или повышенном газовыделении в призабойном пространстве выработки, с нарушенной вентиляцией, могут возникнуть опасные скопления газов. Произойдет загазование призабойного пространства. Этот процесс может иметь разные сценарии.

Мы же для получения крайних оценок рассмотрим гипотетический случай мгновенного выделения газа из груды забоя при полном отсутствии искусственного проветривания призабойного пространства.

Моделируется интенсивный процесс, состоящий в мгновенном загазовании выработки. Результаты, полученные при моделировании этого процесса, могут успешно использоваться для обеспечения безопасности при менее серьезных ситуациях.

Математическая модель процесса выхода газа в призабойное пространство может быть представлена в следующем виде.

Газ, выделяющийся из газонасыщенной зоны в призабойное пространство, меняют энергетический баланс газозудной смеси, в соответствии с законами сохранения массы и энергии:

$$\begin{cases} dU = dQ + i_n dM_n - i_o dM_o; \\ U = U + dU; \\ M = M + dM_n - dM_o; \\ P = (k - 1)U/V; T = PV/RM, \end{cases}, \quad (1)$$

где, U, dU – полная и приращиваемая величины внутренней энергии газа и воздуха в призабойном пространстве, Дж; M, dM_n, dM_o – полная, присоединяемая к призабойному пространству и отделяемая от него массы газа и воздуха, кг; i_n, i_o – удельные энергии присоединяемых и отделяемых масс газа и воздуха, Дж/кг; P, T – давление газа, Па и температура горных пород в которых находится газ, К; k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная, Дж/(кг·К); V – объем зоны пласта с повышенной газонасыщенностью, м³.

Присоединяемую (для объема призабойного пространства) и отделяемую (для объема зоны пласта с повышенной газонасыщенностью) массы определим на основании закона Сен-Венана-Вентцеля.

Присоединяемая масса

$$dM_{in} = \mu_1 0,785 d_1^2 \frac{P_1}{T_1} \sqrt{\frac{2k_1}{k_1 - 1} \frac{g}{R_1} T_1 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_1} \right)^{\frac{k_1 - 1}{k_1}} \right]} d\tau_1; \quad (2)$$

Отделяемая масса

$$\delta M_{шo} = \mu_2 0,785 \delta_2^2 \frac{P_{ш}}{T_{ш}} \sqrt{\frac{2k_{ш}}{k_{ш} - 1} \frac{g}{R_{ш}} T_{ш} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_{ш}} \right)^{\frac{k_{ш} - 1}{k_{ш}}} \right]} \delta\tau \quad (3)$$

Они равны между собой и могут быть выражены в виде:

$$dM_{I_o} = dM_{III_n} = n_{отв} \rho_1 V_n d\tau / \tau_{\phi}. \quad (4)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты расхода; d_1, d_2 – диаметры соответственно подводящего (трещина) и отводящего (горная выработка) каналов, м; $n_{отв}$ – число отверстий, если подводящий канал не один; P_1, P_2 – давление газа и воздуха в подводящем и отводящем каналах, Па; ρ_1 – плотность газа в массиве, кг/м^3 ; P_I, P_{III} – давление в объемах газа заключенного в массива и горной выработке, Па; T_I, T_{III} – температура газа и воздуха в массиве и в призабойной зоне выработки, К; τ – время протекания процесса, с. Из (4) становится понятным, что форма, размеры и даже количество каналов выхода газа не имеют существенного значения.

Удельные энергии присоединяемых и отделяемых масс определим из уравнения

$$I = c_p T, \quad (5)$$

где c_p – изобарная теплоемкость газа и воздуха, Дж/(кг·К); T – температура газа в зоне, из которой происходит истечение, К.

Величина внешнего теплообмена находится на основании закона Ньютона. Коэффициенты теплоотдачи в зависимости от существующего режима течения газа в соответствующих объемах определяются на основании известных критериальных уравнений. Температура в воздушном слое призабойного пространства определяется исходя из уравнения теплового баланса. Изменение термодинамических параметров системы определим следующим образом условно разобьем объем призабойного пространства на три характерные зоны, разделяющиеся по свойствам газозвушной смеси (см.рис.1):

1 - зона образования газовой смеси ($0 < R_0 \leq 2H$);

2 - зона ускоренной диффузии (выравнивания давления) газовой смеси в воздушном слое [$2H \leq R_0 < (K - 2H)$];

3 - зона естественной диффузии газовой смеси в воздушном слое
 $[(K - 2H) \leq R_0 < K]$;

здесь H – высота газового скопления в половине высоты выработки, м.; R_0 – радиус зоны газозвушной смеси, м; K – длина призабойной части выработки, в которой произошло полное смешение газа с воздухом, м.

Все три зоны (при мгновенном газовыделении) объединяются в единую зону отброса газа.

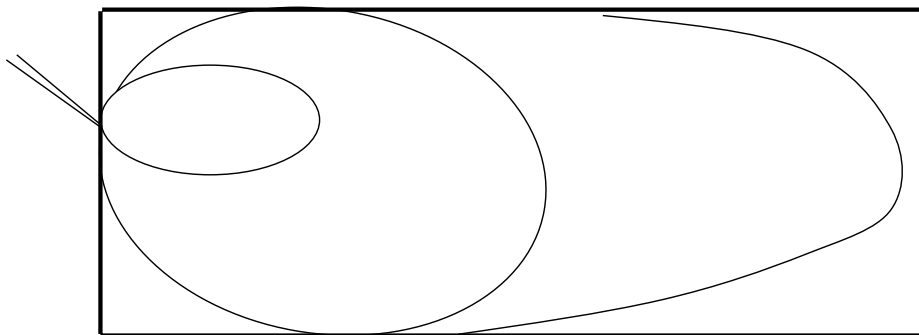


Рис. 1. Зоны переходного состояния газозвушной смеси при истечении газа по каналу К

Для определения изменения параметров газа во время его движения в воздушном слое запишем 1-й закон термодинамики для тела переменной массы в виде:

$$dq + (i_n - i_o)d\varepsilon_n = dI - vdP - Pvd\varepsilon, \quad (6)$$

где dq – удельный контурный теплообмен, Дж/кг, $dq = dQ/M$; $d\varepsilon_n$ – относительная величина присоединяемой массы газа, $d\varepsilon_n = dM_n/M$; $(i_n - i_o)$ $d\varepsilon_n$ – прирост удельной энергии за счет присоединения массы газа, Дж/кг; dI – изменение удельной энтальпии воздуха, Дж/кг; $Pvd\varepsilon$ – удельная работа, связанная с проталкиванием газа в призабойную часть, Дж/кг; $d\varepsilon$ – относительная величина изменения массы воздуха, $d\varepsilon = (dM_n - dM_o)/M$; M – масса воздуха в призабойной зоне, кг, Q – расход, м³/с; здесь dM_n , dM_o – приращение элементарных масс газа и воздуха, кг.

Принимая во внимание, что $dI = MdI + IdM$ и используя энергетическое уравнение состояния $PV = [(k-1)/k] I$, преобразованное к виду

$$dI = dQ + VdP + (i_n - i_o)dM_n - 2i_o dM_o - i_o K^{-1}(dM_n - dM_o). \quad (7)$$

Используя приведенные выражения, получаем систему уравнений для выражения изменения термодинамических параметров газа во время его движения в зоне отброса масс:

$$\begin{cases} dI = dQ + VdP + (i_n + i_o)dM_n - 2i_o dM_o - i_o K^{-1}(dM_n - dM_o); \\ dP = -g\rho \cdot wd\tau \\ M = M + dM_n - dM_o; \quad I = I + dI; \quad P = P + dP; \\ V = (k-1)k^{-1}IP^{-1}; T = PV/MR; \end{cases} \quad (8)$$

$dQ = \alpha 4\pi R_o^2 (T - T_o)d\tau$, – величина теплообмена; α – коэффициент теплообмена, другие параметры соответственно даны и описаны в формуле (1).

Пренебрегая нестационарным движением газозвушной смеси (продолжительность нестационарного движения весьма мала, только до момента выравнивания давления в газовом образовании – несколько долей секунды), скорость ω стационарного движения потока газа в воздушную среду, являющуюся функцией числа Рейнольдса, можно определить следующим образом:

$$1 < Re < 0,4Ar^{0,4}\omega = \nu 0,33Ar^{3/4}/R, \quad (9)$$

где $Ar = \frac{\rho \sigma^{3/2}}{\nu^2 \rho^2 \sqrt{2(\rho - \rho_n)}}$; – коэффициент пропорциональности вязкого перемешивания веществ с разной плотностью – ρ . При $Re > 2500$

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{R_o(\rho - \rho_n)} + gR \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho}\right)}, \quad (10)$$

ρ_n – плотность газа до выхода из газонасыщенной зоны.

Количество диффундировавшего газа в воздушный слой определим используя закон Максвелла:

$$D M_n (dM_o) = 8\pi R(C_o - C_1) D d\tau, \quad (11)$$

где C_o – концентрация равновесного с воздухом газа, кг/м³; C_1 – средняя концентрация по объему зоны отброса масс, кг/м³.

$$C_o = P_{упр} / RT, \quad (12)$$

где $P_{упр}$ – упругое давление, оказываемое расширяющимся потоком газа. В этом случае коэффициент диффузии определится из выражения:

$$D = D_0 4,1 T^{1,8} / P, \quad (13)$$

где D_0 - коэффициент диффузии газа при нормальных атмосферных условиях. A плотность газовой смеси $\rho_{\text{см}}$ смеси:

$$\rho_{\text{см}} = \rho_{\text{п}} \beta + \rho (1 - \beta), \quad (14)$$

где β - объем газа в воздухе, м^3 .

При этом связь между скоростью ω стационарного движения потока газа в воздушную среду и ожидаемым объемным содержанием газа в воздухе β , учитывая (10-14) находится из выражения:

$$\beta = (gR/R_0 - R_0 \omega + \sigma^2)^2, \quad (15)$$

где σ - постоянная скорости процесса, м/с .

Используя (6),(8),(14) и (15), получим уравнение, связывающее давление P , с которым выходит газ из газонасыщенной зоны, с ожидаемым объемным содержанием газа в воздухе β :

$$P = (\beta^{2,5} + K/gR)^{3,5} / R_0 T^{2,5}, \quad (16)$$

Важно решение обратной задачи, а именно, задавшись условием, что в выработке конечная концентрация (ожидаемое объемное содержание горючих газов в воздухе) соответствует ПДК, определить, при каком дебите и давлении выделяющегося газа произойдет загазование. Другими словами, задача сводится к увеличению времени выхода газа, что может регулироваться, например, снижением скорости проходки выработки.

Задача может быть решена другим способом, а именно вовлечением в разбавление газов максимально возможного количества воздуха, причем воздуха, находящегося в пределах выработки. Таким образом это позволит растянуть возможное скопление газа по длине выработки и тем самым снизить концентрацию газа менее ПДК.

Первый способ труднореализуем в практике, так как необходимо достаточно точно прогнозировать зоны с повышенной газонасыщенностью.

Второй способ может быть реализован за счет активного перемещения воздушных масс в призабойном пространстве. Например, с помощью свободных струй с определенной дальностью.

Струя, создаваемая некоторым источником, расположенным в забое, направляется в сторону устья выработки. Присоединение массы относительно чистого воздуха будут способствовать выносу газа из забоя перемешиванию его со всем воздухом, находящимся в выработке, тем самым снижая концентрацию примесей до допустимых значений.

Максимальный расход воздуха приходится на призабойную зону, то есть зону повышенного газовыделения.

Для решения вопроса о критическом газовыделении из забоя, при котором еще не произойдет загазование всей выработки сверх допустимых концентраций, рассмотрим предельный случай, (табл.1).

Следует отметить, что призабойное пространство на 60-80 % занято горнопроходческим оборудованием, поэтому окончательная длина K - зоны естественной диффузии газовой смеси в воздушном слое или зоны загазования призабойного пространства должна быть увеличена в 1,6 - 1,8 длины, значение которой приведено в табл.1. Результаты вычислений приведены в (табл. 2.) Критическим газовыделением в выработку, пройденную комбайном ПК-8, следует считать 2 м^3 для условий Верхнекамского и 1 м^3 для условий Старобинского месторождения. Только в этом случае призабойная часть выработки будет представлять опасность загазования. Если газа выделиться менее указанного значения, то опасного загазования не произойдет.

Таблица 1 - Показатели для определения размеров зоны отброса газа в призабойном пространстве

Тип комбайна.	β , об. %	T, К	R , м	K, м	P, Па
Верхнекамское месторождение					
ПК-8М	0,5	284	1,2	42,21	$34,33 \cdot 10^5$
Урал-20 А	0,5	284	1,8	63,12	$37,21 \cdot 10^5$
Урал-10 А	0,5	284	1,5	48,02	$36,89 \cdot 10^5$
Старобинское месторождение					
ПК -8М	0,5	292	1,1	20,33	$48,15 \cdot 10^5$
Урал-10 А	0,5	292	1,5	28,02	$50,78 \cdot 10^5$

Таблица 2 - Минимальные параметры, при которых произойдет загазование выработки до опасной концентрации (0,5 об%)

Тип комбайна.	Давление газа в пласте, Па.	Длина зоны загазования, м.	Объем газа (при атмосферном давлении), м ³
Верхнекамское месторождение			
ПК-8М	$34,33 \cdot 10^5$	49,978	1,959
Урал-20 А	$37,21 \cdot 10^5$	87,616	7,762
Урал-10 А	$36,89 \cdot 10^5$	60,436	2,522
Старобинское месторождение			
ПК-8М	$48,15 \cdot 10^5$	36,022	1,015
Урал-10 А	$50,78 \cdot 10^5$	60,436	2,522

Таким образом, опасными в калийных рудниках Верхнекамского и Старобинского месторождений могут считаться только такие газовые скопления, которые, имея объем не менее 1 м³, находятся в пласте под давлением не менее 34 атм.

При постепенном выделении газа, что и происходит на практике, расчетная длина зоны загазования, по существу является максимальной протяженностью призабойного пространства, возможно скопление газов в опасных концентрациях. Именно эта часть выработки требует активного проветривания и, следовательно, необходимо обеспечить дальнобойность активной струи не менее следующих значений:

Верхнекамское месторождение:

Комбайн ПК-8М $L \geq 50$ м,

Урал-10А $L \geq 60$ м,

Урал – 20А $L \geq 88$ м,

Старобинское месторождение:

Комбайн :ПК-8М $L > 36$ м,

Урал-10А $L > 60$ м.

Предложенный метод, включающий постоянный активный вынос воздуха из призабойной зоны с помощью свободной струи, дальнобойность которой значительно больше максимальной длины зоны возможного загазования выработки, позволяет практически во всех случаях решить задачу безопасного ведения горных работ в тупиковых выработках калийных рудников, т.к. обеспечивается разбавление воздухом,

находящимся в выработке, максимально возможных газовыделений.

При этом концентрация газа в любой точке выработки, включая призабойное пространство, всегда будет менее максимально допустимой.

Предложенный метод использован для разработки способа проветривания горных выработок, схема которого приведена на рис.2. Вентилятор-эжектор устанавливается непосредственно в призабойном пространстве. Всос вентилятора максимально приближен к забою, а выхлоп направлен в сторону устья выработки.

Выхлоп производится через сопло в камеру смешения эжектора, куда эжектируется дополнительный объем воздуха.

Схема размещения забойной установки активного проветривания (ЗУАП) показана на рис.3.

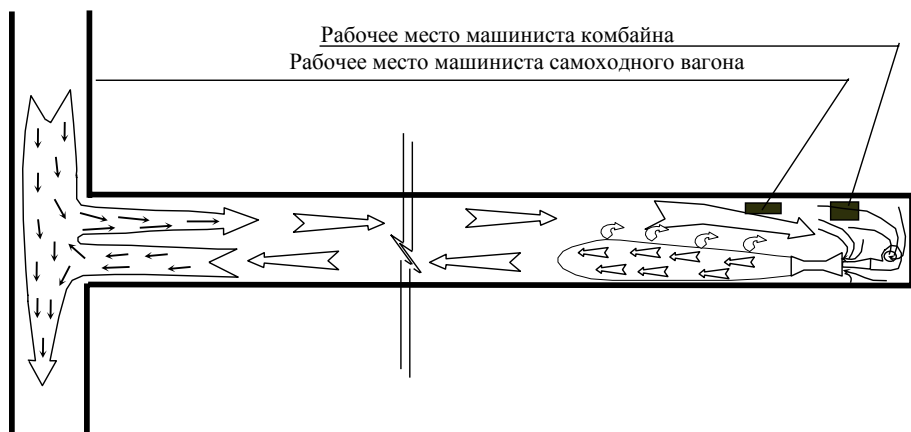


Рис. 2. Способ проветривания тупиковой горной выработки активной струей с применением забойной установки активного проветривания (ЗУАП)

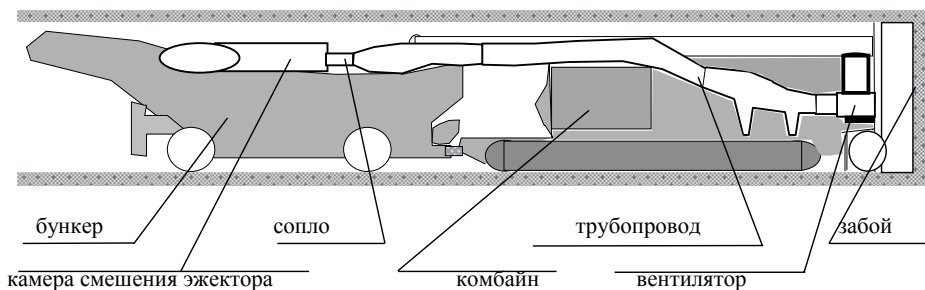


Рис. 3. Расположение ЗУАП на комбайновом комплексе в призабойном пространстве тупиковой выработки

Предложенный способ проветривания прошел обширные промышленные испытания в различных условиях проходки выработок в течение 8 лет.

За это время общее количество ЗУАП, прошедших эксплуатационные испытания, увеличилось до 55 шт. Причем за весь период испытаний, (пройдено более 5000 км

выработок), проводившихся практически во всех возможных условиях проходки выработок на калийных рудниках и на всех пластах, включая наиболее газоносный пласт В (карналлитового состава), не было зафиксировано ни одного повышения концентрации газов в выработках, В то время как на комбайновых комплексах, проветриваемых традиционными способами, в год регистрируется от 25 до 45 подобных событий на каждом руднике.

Выполненные исследования позволили на основе статистической обработки получить эмпирические выражения расчетных параметров:

- необходимой производительности ЗУАП ($Q_{ЗУАП}$), в зависимости от потребного расхода воздуха ($Q_{ВЫР}$), ее длины выработки (L) и сечения (S), приведенного диаметра (d), а также сечения ЗУАП ($S_{ЗУАП}$):

$$Q_{ЗУАП} = (0,1 \cdot Q_{ВЫР} (L - 3\sqrt{S}) \cdot (d + \sqrt{S_{ЗУАП}})) / 3,14 \cdot S, \quad (17)$$

Таблица 3 - Сечения и приведенные диаметры выработок

Параметр	Тип комбайна									
	ПК-8 М		Урал-10 КС			Урал- 20 КС			Урал-61	
S	8,1	8,9	8,3	9,4	10,5	15,3	17,9	20,1	8,0	8,9
d	3,21	3,37	3,2	3,4	3,66	4,41	4,78	5,06	3,19	3,3

- критической длины тупиковой выработки, проветриваемой ЗУАП,

$$L_{кр} = 3\sqrt{S} + d \cdot (0,3751 + 0,2632 \cdot Q_{ВЫР} / Q_{ЗУАП}) / 0,0065. \quad (18)$$

Широко распространенное струйное проветривание хотя и значительно улучшает газовую обстановку в тупиковых выработках, безусловно, не обеспечивает решения всех проблем газового режима рудников, например, проблемы адекватной структуризации подземного пространства по степени реальной газовой опасности.

Список литературы

1. Красноштейн А.Е. Алыменко Н.И. Минин В.В. и др. Забойная установка активного проветривания (ЗУАП) с вентиляторами типа В-2М, ВМЭ-5, ВМЭ-6: техническое описание и руководство по эксплуатации (утв. Горн. Ин-ом УрО РАН, АО «Уралкалий», АО «Сильвинит»). Пермь, 1996. 44с.
2. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания Верхнекамских калийных рудников (утв. Союзом производителей калия и согласована Госгортехнадзором РФ 18.02.94). Пермь, 1994. 25с.
3. Мохирев Н.Н. Попов А.С. Расчеты при проектировании вентиляции шахт. Учебно-методическое пособие Пермь 2006. 317с.
4. Алыменко Н.И., Минин В.В., Вентиляторные установки и их применение, Екатеринбург, 1999.
5. Ушаков К.З., Справочник по рудничной вентиляции.– М.: Недра, 1987.

6 Структуризация подземных пространств

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

При анализе газового состава атмосферы, газоносности пластов, газовыделений в горные выработки выявлено, что выделение газов с концентрацией, способной привести к загазованию призабойного пространства, может носить только локальный характер и только при вскрытии газонасыщенных зон массива. Причем опасная ситуация возникает исключительно при нарушении режимов проветривания.

По геологическим особенностям, связанным с наличием достаточно больших газонасыщенных зон, различаются участки шахтопластов в пределах шахтных полей. Эти участки, или зоны, рассматриваются отдельно, так как остальное пространство рудника не имеет предпосылок к выделению большого количества газов. Исходя из этого необходимо разделить подземное пространство на зоны, где можно ожидать газовыделения в большей или меньшей степени, т.е. произвести структуризацию подземного пространства.

Суть концепции методологического подхода в структуризации рудников состоит в выделении в подземном пространстве рабочих зон с различной степенью газовой опасности и, соответственно, разными требованиями газового режима. Такой подход позволяет сконцентрировать усилия по предотвращению аварийных ситуаций в действительно опасных участках ведения горных работ и тем самым обеспечить повышение безопасности работ при значительном снижении ресурсных и энергетических затрат.

Целью разделения подземного пространства рудников на зоны с разной прогнозируемой степенью опасности является перераспределение усилий для обеспечения контроля и управления газовым режимом в опасных и менее опасных местах, тем самым можно обеспечить адекватность газового режима.

Даже в непрветриваемых выработках (например, при длительной вынужденной остановке забойного оборудования или по причине прекращения подачи энергии по причине аварии) далеко не всегда происходит опасное скопление газов. Тому подтверждение - статистика исследований, проводимых на рудниках с 1993 г. один раз в полугодие, по определению интенсивности газовыделений. Нарботанное количество измерений концентрации горючих газов (более 17 860) в период остановки проветривания забоев (при отключенной горной технике и вентиляторах) в течение 6 часов в большинстве своем показывает отсутствие выделения или накопления газов. Менее чем в 500 замерах суммарная концентрация горючих газов имела величину от 0,2 до 0,5 об. %. В 19 замерах обнаружена концентрация от 0,5 до 1 об. %, т. е. в тысячной доле случаев.

Выработки, где обнаруживался газ, как правило, находились в участках шахтных полей (например, 8-я панель, 2-3-й блоки рудника СКПРУ-3 ОАО «Сильвинит» или 12 ВП 4-6-й блоки рудника БКПРУ-2 ОАО «Уралкалий» и некоторые другие, имеющих выраженные геологические особенности – повышенная складчатость, трещиноватость и т.п. Эти особенности позволяли предполагать, что здесь имеются зоны с существенным скоплением газов и есть условия дренажа газа в выработки с большой интенсивностью. В то же время некоторые участки, в которых обнаруживался газ, ничем не выделялись из общей картины месторождения.

Установлено, например, если в призабойной части выработки происходит интенсивное выделение газа, что достаточно часто наблюдалось при исследованиях в выработках, вскрывающих пласт В на 2-3 панелях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит», или в выработках, проходимых по пласту Кр-1 в районе 10-13-й восточных панелей

рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий», в выработках, непосредственно сбитых с находящейся в проходке, обнаруживались только «следы» газа. А в пределах нескольких (2-5) выработок по ходу исходящей струи весь выделяющийся газ разбавлялся в объемах пространств выработок до нерегистрируемых значений концентрации.

Подобные факты наблюдались многократно и в других выработках. Это фиксировалось исследователями и специалистами рудников в журналах по проверке газового состава воздуха на комбайнах. Статистическая обработка таких замеров показывает, что в среднем этих событий бывает 10-15 в год на каждом руднике, и, как правило, они приурочены к одним и тем же местам ведения горных работ, число которых не превышает 2-5 из 30-35 мест.

Приведенные факты позволяют констатировать, что опасные зоны ведения горных работ, с аэрологической точки зрения, выглядят как одиночная выработка или совокупность аэродинамически связанных выработок в пределах одного пласта, в которых ведутся очистные, подготовительные, закладочные, разведочные работы, а также любые другие работы, связанные с отбойкой или любым другим нарушением массива. Эти зоны именуются «рабочими зонами».

Выполненные исследования позволили дать качественные характеристики, по которым рабочие зоны можно условно разделить на три группы:

1. Неопасные, в которых ни при каких условиях не произойдет опасного скопления газа, например, выработки в подстилающей каменной соли.
2. Опасные, в которых при определенных условиях может произойти опасное скопление газа, например, при недостаточном проветривании.
3. Особо опасные, расположенные в зонах геологических нарушений, пластах, имеющих повышенную газоносность и т.п., то есть такие, в которых заведомо опасные скопления газа весьма вероятны.

В отдельную группу должны быть отнесены рабочие зоны, в которых по прогнозу геологических служб возможны ГДЯ. Так как в этих зонах, помимо обычных мер проветривания и безопасности ведения горных работ, должны проводиться специальные работы, направленные на предупреждение и локализацию ГДЯ.

ГДЯ – это, несомненно, верхний предел, при котором выявляются параметры суфлярного выделения, приведшего к разрушению целостности массива. Параметры порового давления и объемы газов, достаточные для возникновения ГДЯ, хорошо исследованы в работах Г. Д. Поляниной, и С. С. Андрейко. При возникновении ГДЯ должны приниматься меры, связанные с ликвидацией аварии, только после этого можно восстановить рабочий режим проветривания. При этой аварийной ситуации, необходимы специальные меры, которые не могут рассматриваться в контексте энергосберегающего проветривания, при аварии все следует сделать для ее ликвидации не взирая на затраты.

Структуризация необходима для нормальных условий ведения горных работ, а ее основная задача – выделить рабочие зоны из остального пространства. Необходимо начинать с рассмотрения процесса отбойки руды, так как этот процесс сопровождается самым интенсивным разрушением горного массива, а, следовательно, более прочих процессов он способствует выделению газов из массива.

Отбойка руды на калийных рудниках, в основном, производится механизированными комплексами, производительность которых не превышает 0,1-0,12 м³/с. При этом, закономерность выделения газа в выработку имеет стохастический характер, вследствие чего величина объемной доли условного метана в любой выработке находится из выражения:

$$I_{\%} = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}G_c^2} \int_{\bar{c}_M}^{\bar{c}} \exp\left[-\frac{(\bar{c}_M - c_M)^2}{2G_M^2}\right] dc_M, \quad (1)$$

где $\bar{c}_M = (g_{\text{газ}} + g_{\text{ор}}) \frac{102}{Q_Z}$ - математическое ожидание концентрации газов и $G^2 = (G^2_{\text{газ}} + G^2_{\text{ор}}) \frac{102}{Q_Z}$ - дисперсия концентрации газов в выработке, при Q_Z - количестве свежего воздуха, поступающего в выработку; $g_{\text{газ}}, g_{\text{ор}}$ - математическое ожидание количества выделившегося газа из разрушенного забоя и отбитой руды; $G^2_{\text{газ}}, G^2_{\text{ор}}$ - среднеквадратичные отклонения данных параметров; Π - коэффициент пропорциональности; c_M - суммарная концентрация горючих газов.

Проинтегрировав (2) при значении $c_M = 1\%$ (суммарная концентрация горючих газов не должна превышать 1%), и наборе различных величин Q_Z , получаем некоторый «порог» вероятности возникновения взрывоопасной концентрации газов, выражаемый через функцию

$$Q_Z = \frac{102}{\sqrt{2\Pi}} \ln \frac{C}{C_0}, \quad (2)$$

где C_0 - предельная концентрация газов допустимая по правилам безопасности; C - концентрация газа в выработке, которая может принимать максимальные значения, определяемые в ходе проведения исследований газовыделений в горных выработках. Уравнение (2.21) справедливо для мгновенного выделения газа, т.е. того процесса, который представляет наибольшую опасность.

Взаимосвязь газовыделений P_r и относительной газообильности q_r ($\text{м}^3/\text{т}$) выработок выглядит как уравнение $P_r = q_r J$, они связаны через J - производительностью комбайнового комплекса, т/мин.

Можно рассчитать показатель Ω загазования выработки с учетом количества воздуха определенного из уравнения (3), при известных величинах q_r и J , он может быть описан закономерностью:

$$\Omega = 100q_r J / Q_Z, \quad (3)$$

Очевидно, что при $\Omega = 1$ и более в данном месте выработки наступила опасная ситуация. Этот показатель может быть применен в качестве критерия уровня опасности рабочих зон.

При использовании показателя Ω , разделение рабочих зон производится по структуре количественных значений, в результате можно выделить следующие зоны:

- неопасные выработки с показателем, равным 0;
- малоопасные - от 0 до 0,5, так как допускается содержание газов на рабочих местах и исходящих струях до 0,5 об %;
- опасные - от 0,5 до 1;
- особо опасные - свыше 1.

Проанализировав по предложенному показателю, приведенные в табл. 1, показателю, данные вписываются в малоопасными. Однако, если принять значения Q_Z близкими к нулю (отсутствие проветривания), то уровень газовой опасности некоторых зон возрастает. Но имеет место противоречие, связанное с очень малой газообильностью отдельных зон, вследствие которого эти зоны, при отсутствии поступления свежего воздуха, так и не достигают более высокого уровня опасности (см. табл.1).

Таблица 1 - Степень опасности рабочих зон Ω .

Наименование местонахождения рабочей зоны	При нормальном проветривании	При отсутствии проветривания
БКПРУ-1 пл. Кр-II, 5 ЮЗП.	0,16	0,33
БКПРУ-1 пл. АБ, 5-бис ЗП.	0,29	0,41
БКПРУ-1 пл. В, 10 ВП.	0,41	1,31
БКПРУ-2 пл. Кр-II, 15 ЗП.	0,19	0,46
БКПРУ-2 пл. АБ, 12 ВП.	0,32	0,64
БКПРУ-4 пл. Кр-II, 2 СЗП.	0,27	0,57
БКПРУ-4 пл. АБ, 1 ЮВП.	0,29	0,77
СКПРУ-1 пл. В, 2 ВП.	0,45	1,82
СКПРУ-1 пл. Кр-II, 4 СП.	0,16	0,37
СКПРУ-2 пл. АБ, 4 ЮЗП.	0,39	0,71
СКПРУ-2 пл. Кр-II, 5 ВП.	0,12	0,43
СКПРУ-3 пл. Кр-II, 3 П.	0,27	0,48
СКПРУ-3 пл. АБ, 8 П.	0,38	0,88
СрКРУ-4, 2 гор., 13 ЮП.	0,12	0,28
СрКРУ-1, гор. 305 м, 12 П.	0,01	0,12
СрКРУ-1, 3 гор., 6 СВП.	0,21	0,39
СрКРУ-2, 2 гор., 3 СЗП.	0,11	0,27
СрКРУ-2, 3 гор., 5 СВП.	0,25	0,41
СрКРУ-3, 2 гор., 12 ЮВП.	0,13	0,29
СрКРУ-3, 3 гор., 11 СВП.	0,26	0,43
СрКРУ-4, 3 гор., 9 СП.	0,27	0,46

Вне границ рабочих зон объемы воздуха увеличиваются в сотни раз, что показано в первой главе, и здесь газовая опасность естественно, понижается. Если показатель Ω не выходит за пределы одного уровня газовой, как при нормальной вентиляции, так и при ее отсутствии, то надежность прогноза степени опасности рабочей зоны повышается. Следовательно, количественные характеристики опасности рабочих зон должны определяться при условии отсутствия проветривания, а в этом случае формула (4) примет вид:

$$\Omega = 100g_r J, \quad (4)$$

Качественные характеристики и количественные показатели газовой опасности рабочих зон взаимно поглощаются. И они принимают общий вид в следующей форме:

1. Неопасные, $\Omega = 0$.
2. Малоопасные, Ω не более 0,5.
3. Опасные, Ω не более 1.
4. Особо опасные по газу и ГДЯ, Ω более 1 или получен прогноз ГДЯ.

Газовый режим должен строиться на основе выявленных критериев и с учетом того, что его реализация позволит усилить контроль и управление газовой обстановкой в действительно опасных местах.

Таким образом, разработан новый подход к оценке формирования газового режима на рудниках с относительно низкой, но крайне неравномерно распределенной по шахтному полю газоносностью массива и газообильностью выработок. Суть его состоит в выделении в подземном пространстве рабочих зон с различной степенью газовой опасности по качественным и количественным показателям. Такой подход позволяет сконцентрировать усилия по предотвращению аварийных ситуаций в действительно опасных участках ведения горных работ и, тем самым, обеспечить повышение

безопасности работ.

Список литературы

1. Бакланов В.В. Зуев Н.Д. О мерах улучшения вентиляции подземных рудников Казахстана. Цветная металлургия. 1983. №3. С. 34-35.
2. Братченко Б. Ф. Стационарные установки шахт. М.: Недра, 1977. 440с.
3. Бусыгин К.К. Войтенко Н.Н. Клишань А.Ф. Способы и средства проветривания тупиковых выработок в основных зарубежных угледобывающих странах. М.: ЦНИИУголь, 1986. 50с.
4. Ивахенко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. Киев: Наук. думка, 1971. 416с.
5. Красноштейн А. Е., Алыменко Н.И., Десятов Е.В. и др. Источник тяги для вентиляции труднопроветриваемых зон. С. 201-206.
6. Красноштейн А. Е., Алыменко Н.И., Минин В.В. и др. Повышение безопасности проветривания тупиковых выработок с. 206-210

7 Безопасность ведения горных работ при проектировании горно-технических систем вентиляции

*ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.
ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович*

Горнотехнические системы, как правило, несут высокую степень опасности, связанную с замкнутым воздушным пространством. Воздух в нем загрязняется частично и только в районе забоев. При этом огромные объемы чистого воздуха бесцельно прогоняют через рудники. Воздух не только не теряет свои нормальные свойства, а улучшает из как в газовой, аэрозольной и теплотехнических составляющих. Повторное использование воздуха минимизирует риски в горнотехнических системах.

Ключевые слова: повторное использование воздуха, вспомогательная установка главного проветривания, обоснование безопасности рудничной атмосферы

Mine technical systems carry a high level of danger connected with enclosed air space. The air is polluted partially in it and only in the area of working faces. Whereby significant fresh air volumes don't bear functional load. The used air not only does not lose its normal properties but improves them by parameters of gas, aerosol and thermo-technical components. Reusing air minimizes the risks in mine technical systems.

Key words: partial air reusing, auxiliary main ventilation unit, safety justification of mine atmosphere.

Возможность повторного использования части воздуха, перемещаемого по рудничным вентиляционным сетям, вытекает из детального анализа процессов формирования газового и аэрозольного (пылевого) состава рудничной атмосферы.

Динамика микроклиматических параметров и технических возможностей по управлению воздушными потоками, контролю соответствия качественных характеристик воздушного потока действующим нормам и правилам соответствует современному уровню.

Подход следует рассматривать как одно из наиболее значимых и перспективных направлений энергосберегающих технологий проветривания крупных подземных рудников, имеющих большие объемы выработанных пространств и разветвленные системы горных выработок с малым аэродинамическим сопротивлением (сечением выработок до 20 м² и более).

Существующие технологии проветривания во многом исчерпали свои возможности для сокращения затрат энергии на вентиляцию. Дополнительные резервы появились только при изменении самой технологии проветривания.

Огромный опыт исследователей (Медведева И.И., Красноштейна А.Е., Мохирева Н.Н., Алыменко Н.И. и др. - более 60 лет) и результаты собственных исследований позволили научно обосновать принципы применения повторного использования воздуха, при выполнении которых не только не ухудшаются, а наоборот становятся управляемыми и безопасными газовые, аэрозольные, теплофизические и аэродинамические параметры воздушной среды и процессы проветривания рудников.

Для доказательства этого, на основании ранее описанных исследований [1, 2, 3, 4] и опыта проектирования и строительства рудников, нами:

1. Обосновано применение дифференцированного газового режима рудников,

основанного на теоретическом и экспериментальном доказательстве локального в пространстве и ограниченного во времени повышенного газовыделения, приуроченного только к местам ведения горных работ. В результате доказано, что исходящая струя может быть использована наравне со свежей струей. Это новые вентиляционные резервы для проветривания с повторным использованием воздуха. Газовый состав воздуха соответствует требованиям и нормам.

2. Доказано, что круглогодично аэрозольный состав на исходящей струе рудника не хуже, чем на поступающей. Этот воздух может быть использован повторно, но необходимо обеспечить некоторую длину пути исходящей струи после рабочей зоны, чтобы концентрация пыли, за счет естественного осаждения частиц, становилась равной нормативному показателю.

3. Установлено, что по пути движения температура и влажность воздуха стабилизируются, становясь при этом близкими к санитарно-гигиеническим требованиям и нормализованными в конденсационных процессах. Такой воздух поступает в рабочие зоны, а из рабочих зон уходит с теми же неизменными термодинамическими характеристиками. Повторное использование исходящей струи уменьшает негативное воздействие атмосферных колебаний на поддержание комфортных условий труда.

4. Выявлены объективные причины возникновения в рудниках большой мощности труднопроветриваемых зон, они связаны с невозможностью создания достаточной депрессии в весьма сложной системе горных выработок, способной повсеместно обеспечить подачу необходимого расхода воздуха. Доказано, что увеличить депрессию рабочих зон возможно только при рассредоточенном размещении источников тяги (вентиляторных установок) по длине вентиляционного пути. При этом повышается коэффициент доставки воздуха, так как утечки практически ликвидируются при равномерном распределении депрессии. Увеличивается подача воздуха в рабочие зоны, при той же производительности вентиляторных установок. Высокой эффективности способствует повторное использование части воздуха. И само повторное использование воздуха способствует стабилизации и нормализации параметров рудничной атмосферы в целом.

5. Доказано, что существенное снижение затрат энергии в основном зависит от уменьшения количества воздуха, подаваемого в рудник. А внутрирудничное управление потоками воздуха мало влияет на энергозатраты, так как здесь применяются вентиляторные установки малой мощности и высокой производительности (например, эжекторные или забойные).

Все нормируемые показатели воздушной среды при повторном использовании воздуха не хуже, а, как правило, лучше параметров, свойственных существующим технологиям проветривания.

Для подтверждения разработанных принципов новой технологии проветривания выполнены опытно-промышленные испытания повторного использования воздуха (рис. 1) в условиях рудника БКПРУ-2 ОАО «Уралкалий» в период декабрь 1998 - январь 1999 гг, где использовались следующие основные параметры новой и (существующей системы) проветривания:

- потребное количество воздуха, подаваемое для проветривания подземных выработок, в том числе всех рабочих зон $310 \text{ м}^3/\text{с}$ ($301 \text{ м}^3/\text{с}$);
- расход воздуха, подаваемого в рудник $146 \text{ м}^3/\text{с}$ ($312 \text{ м}^3/\text{с}$);
- производительность Главной Вентиляторной Установки $186 \text{ м}^3/\text{с}$ ($420 \text{ м}^3/\text{с}$).

Таким образом, в рабочие зоны подали больше воздуха, в рудник меньше наполовину.

В новой системе использовалось рассредоточенное применение трех вентиляторных установок. Камеры служебного назначения проветривались обособленной струей.

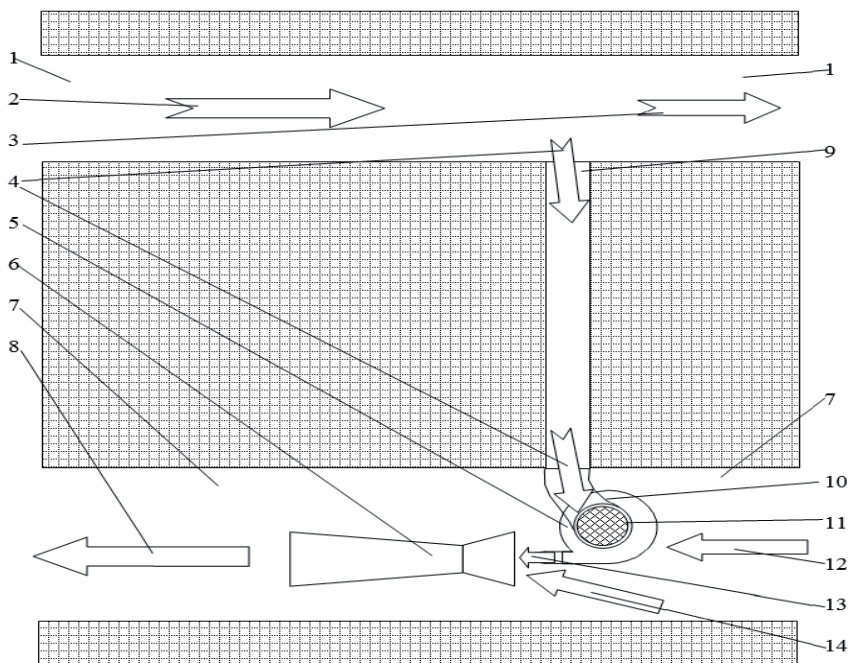


Рисунок 1 – Элементы опытно промышленной установки

На рисунке показано: вентиляционная выработка 1, по которой осуществляют отвод исходящего воздуха от мест ведения горных работ в рудничную вентиляционную сеть в направлении, указанном стрелкой 2, одна часть исходящего воздуха, проходит в направлении, указанном стрелкой 3, другая часть исходящего воздуха подается по направлению, указанному стрелкой 4 во всасывающее отверстие вентилятора 5, который снабжен камерой смешения 6 для получения эжектирующего эффекта, вентилятор 5 и камера смешения 6 расположены в воздухоподающей выработке 7 и образуют вентиляторную установку, по воздухоподающей выработке 7 воздух поступает к месту ведения горных работ в направлении, указанном стрелкой 8, для подачи части воздуха из вентиляционной выработки 1 в вентилятор 5 выполняют соединительную выработку 9 и соединительный трубопровод 10 присоединенный к входу 11 в вентилятор 5, по воздухоподающей выработке 7 проходит свежий воздух, в направлении, указанном стрелкой 12, движение воздуха 12 осуществляется за счет эффекта эжекции, создаваемого потоком воздуха 13 выходящим из вентилятора 5 в камеру смешения 6, куда подсаывается поток воздуха 14.

Таблица 1 - Количество и состав газов соляных пород ВКМС

Порода	Газобильность, м ³ /м ³	Состав газов, об%					
		H ₂	CH ₄	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S
Карналитова порода	0,06	<u>25,5</u> -	<u>7,0-9,9</u>	Нет	<u>10,6-</u>	<u>38,0-</u>	Нет
	Нет сведений	<u>32,6</u> 29,0	8,4	сведений	<u>22,0</u> 16,3	<u>54,1</u> 46,0	сведений
Пестрый сильвинит	<u>0,11-0,13</u>	<u>1,1-14,1</u>	<u>0,6-5,4</u>	Нет	<u>3,2-</u>	<u>26,0-</u>	Нет
	0,12	6,3	2,8	сведений	<u>15,2</u> 11,2	<u>87,0</u> 73,0	сведений
Полосчатый сильвинит	<u>0,08-0,20</u>	<u>0,2-12,8</u>	<u>0,7-</u>	<u>23,0-29,0</u>	<u>0,5-8,5</u>	<u>30,0-</u>	<u>0,1-2,4</u>
	0,14	5,8	<u>10,4</u> 3,8	26,0	4,5	<u>89,2</u> 68,9	0,7
Красный сильвинит	<u>0,02-0,46</u>	<u>0,0-22,9</u>	<u>1,8-7,6</u>	<u>22,0-25,3</u>	<u>0,1-8,0</u>	<u>52,0-</u>	<u>1,1-8,6</u>
	0,15	8,6	4,2	23,8	5,0	<u>85,6</u> 73,4	4,8
Каменная соль	<u>0,14-0,20</u>	<u>2,9-6,7</u>	<u>7,0-</u>	<u>24,0-28,0</u>	<u>0,7-2,4</u>	<u>52,0-</u>	<u>0,2-1,5</u>
	0,17	4,8	<u>13,0</u> 10,0	26,0	1,6	<u>66,4</u> 59,2	0,8
Свободные газы							
Карналитова порода	<u>0,13-2,5</u>	<u>7,8-54,0</u>	<u>11,5-</u>	20,5	<u>0,3-1,7</u>	<u>37,7-</u>	Нет
	1,36	25,0	<u>45,0</u> 30,9	20,5	0,7	<u>57,5</u> 49,0	сведений
Пестрый сильвинит	<u>0,002-1,48</u>	<u>0,0-39,4</u>	<u>0,4-</u>	Нет	<u>0,1-</u>	<u>42,0-</u>	(3-
	0,43	11,3	<u>39,2</u> 27,0	сведений	<u>10,0</u> 2,7	<u>51,2</u> 47,9	20)·10 ⁻⁴ 0,001
Полосчатый сильвинит	<u>0,01-1,50</u>	<u>0,0-7,4</u>	<u>43,1-</u>	Нет	<u>0,3-4,0</u>	<u>24,4-</u>	4·10 ⁻⁵
	0,76	3,8	<u>50,8</u> 48,4	сведений	1,3	<u>51,1</u> 43,1	Нет сведений
Красный сильвинит	<u>0,05-0,90</u>	<u>0,0-9,6</u>	<u>5,3-</u>	Нет	<u>0,0-7,1</u>	<u>40,0-</u>	4·10 ⁻⁶
	0,40	1,9	<u>46,6</u> 26,3	сведений	1,6	<u>81,2</u> 58,1	Нет сведений

За время наблюдений (два месяца) газовый состав воздуха не ухудшился, а по влажосодержанию и температуре наступила стабильность, на уровне комфортных показателей (12 катаградусов).

В результате проведения измерений затрат электроэнергии получено сокращение энергопотребления с 516 070 кВт*ч (за тот же период прошлого года) до 163 123 кВт*ч, или более, чем в три раза. Подобные работы продолжились на рудниках Урала, Белоруссии, Сибири и Дальнего востока.

Применение повторного использования воздуха на рудниках большой мощности не только оправданно с энергетической точки зрения, но и существенно повышает эффективность проветривания. При этом повышается безопасность ведения горных работ, так как все параметры воздушной среды действительно выдерживаются близкими к нормируемым значениям, а также резко возрастает воздухообмен в рабочих зонах, что обеспечивает лучший вынос всех выделившихся там (в зонах) газообразных и аэрозольных продуктов ведения горных работ.

При этом безусловно выполнение следующих условий в проектной документации:

1. Контроль газовой обстановки по дифференцированному принципу, с усилением его в более опасных рабочих зонах.

2. Подача подвешивающей струи воздуха с поверхности в объеме, достаточном для нормализации состава атмосферы при самых неблагоприятных условиях.

3. Рассредоточенное размещение средств управления распределением воздуха.

4. Масштабность создания контуров циркуляции в больших объемах, желательно в пределах крыльев или горизонтов рудников.

5. Обособленное проветривание камер служебного назначения.

Технология нашла воплощение в Правилах безопасности ПБ 03-553-03 и проектах.

Список использованных источников

6. Красноштейн А.Е. Алыменко Н.И. Минин В.В. и др. Забойная установка активного проветривания (ЗУАП) с вентиляторами типа В-2М, ВМЭ-5, ВМЭ-6: техническое описание и руководство по эксплуатации (утв. Горн. Ин-ом УрО РАН, АО «Уралкалий», АО «Сильвинит»). Пермь, 1996. 44с.
7. Мохирев Н.Н. Попов А.С. Расчеты при проектировании вентиляции шахт. Учебно-методическое пособие Пермь 2006. 317с.
8. Алыменко Н.И., Минин В.В., Вентиляторные установки и их применение, Екатеринбург, 1999.
9. Алыменко Н.И., Минин В.В. Подземные вентиляторные установки для нормализации вентиляции труднопроветриваемых зон. Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градоромышленных агломераций: Тез. Докл. Междунар. Симпоз. М.; Пермь 1995. С. 6-7.
10. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей, УрО РАН, Пермь 2001. 429 с.
11. Экстремальная экология (проблемы, пути решения) [Текст]: [монография]/ Я.Я. Яндыганов, Е.Я. Власова, В.В. Минин, Н.И. Козлова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург, 2014. – 255 с.

Сведения об авторах

Вадим Витальевич Минин - начальник отдела вентиляции горных выработок ОАО «Уралмеханобр», кандидат технических наук, член- корреспондент МАНЭБ, доцент; 620144 г. Екатеринбург, Хохрякова,87; телефоны: раб.8(343) 344 27 42*2104,моб.8-904-163-74-87, E-mail:minin_vv@umbr.ru

Пьянков Дмитрий Александрович - ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок ОАО «Уралмеханобр», тел.раб: 344 27 42*2104,моб.8 922-608-77-33, E-mail: piankov_da@umbr.ru

8 Результативность применения подземных установок главного проветривания

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

Вопрос представлен на основе 56 летнего опыта работы в рудниках школы аэрогазодинамики СССР, представленной сейчас специалистами ГИ УрО РАН, ОАО «Уралмеханобр» и последних разработок этих коллективов.

Вентиляторные установки в рудниках обеспечивают проветривание как за счет общешахтной депрессии, так и местное. С их помощью выносятся газ и пыль из забоев, подается свежий воздух и удаляется отработанный.

Для проветривания подземных рудников применяются различные типы главных вентиляторных установок (ГВУ). Выбор ГВУ зависит от в основном от параметров вентиляционной сети. Основными типами главных вентиляторных установок (ГВУ) на Верхнекамском и Старобинском месторождении калийных солей является ВРЦД – 4,5 (18 шт.) и ВЦД – 47 (6 шт.) различных модификаций. Это высоконапорные центробежные вентиляторы. Сейчас имеет место применение осевых вентиляторов для создания общешахтной депрессии только в подземных условиях БКПРУ-2 ОАО «Уралкалий» - тип ВОД – 30МС (2 шт.). Таким образом, в эксплуатации находятся 28 вентиляторов, составляющих 11 вентиляторных установок.

Давление и производительность каждой из них зависят от вентиляционной сети рудников, на параметры которой работают ГВУ (табл. 1).

Таблица 1. - Основные параметры работы ГВУ на Верхнекамском и Старобинском месторождении солей

Верхнекамское			Старобинское		
Рудник	Производительность, м ³ /мин	Давление, даПа	Рудник	Производительность, м ³ /мин	Давление, даПа
БКРУ-1 до 2000 г.	32000	400	СгКРУ-1	32000	440
БКРУ-2	26000	230			
БКРУ-4	33000	265	СгКРУ-2	30000	420
СКРУ-1	32000	210	СгКРУ-3	27000	385
СКРУ-2	26000	160	СгКРУ-4	(3ст) 16000	210
СКРУ-3	28000	185	СгКРУ-4	(4ст) 24000	265
Итого:	177000	-	Итого:	129000	-
ВСЕГО Производительность ГВУ, м ³ /мин:				306000	

Суммарная производительность всех ГВУ равна 306000 м³/мин, при этом давление вентиляторов от 160 до 440 даПа, притом, что зона экономичной работы находится в районе 500 -750 даПа.

Для местного проветривания используются вентиляторные установки нагнетательного и всасывающего действия. В обоих случаях кроме вентиляторов в них применяются трубопроводы, прокладываемые вдоль проветриваемой выработки. Нагнетательные вентиляторы местного проветривания (ВМП) – осевые (типа ВМЭ-6 и 5), всасывающие ВМП – центробежные (типа В2М). Количество и параметры работы ВМП соответствуют числу забоев и зависят от протяженности проходимой выработки. Средние показатели работы ВМП приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные параметры работы ВМП на Верхнекамском и Старобинском месторождении солей

Вентиляторные установки		Количество, шт.	Производительность, м ³ /мин.	Давление, даПа.
всасывающие	ВМП (В2М)	12	110 – 180	300 – 850
нагнетательные	ВМП (ВМЭ-5)	173	130 – 215	240 – 650
	ВМП (ВМЭ-6)	604	205 – 410	310 – 770
ВСЕГО Производительность ВМП, м ³ /мин:			от 234330 до 464095	

Максимальная производительность всех ВМП равна 464095 м³/мин что многократно больше производительности всех ГВУ.

Давление, создаваемое ВМП в два - три раза больше чем давление ГВУ. То есть в районе работы ВМП невозможно организовать перераспределение воздуха за счет общешахтной депрессии, так как для этого недостаточно потенциальной энергии – ГВУ. Неудивительно, что повсеместно у ВМП наблюдается циркуляция значительного количества воздуха.

Для перераспределения воздуха в руднике, и для организации частичного повторного использования исходящей струи применяются вентиляторные установки малой мощности. Для этого в начале 90 годов XX века были проведены исследования и созданы оригинальные вентиляторные установки [1, 2, 3, 4]. В соответствии с ГОСТ 11004-84 они получили названия «подземные передвижные вентиляторные установки» (ППВУ) и «подземные вспомогательные вентиляторные установки» (ПВВУ). Широкое применение показало их высокую эффективность и надежность. В 1995 г. ППВУ и ПВВУ впервые были введены в нормативные документы как средства проветривания на Верхнекамском калийном месторождении [5]. С 1996 г. их начали применять в Республике Беларусь. В качестве средства средства нормализации вентиляции труднопроветриваемых зон они разрешены ПБ 03-553-03 с 2003 г.

В ППВУ и ПВВУ используются серийно выпускаемые ВМП с камерами смешения для создания эжектирующего эффекта. Количество ППВУ (ПВВУ) и параметры их работы приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные параметры работы ППВУ (ПВВУ) на Верхнекамском и Старобинском месторождении калийных солей

Верхнекамское				Старобинское			
Рудник	Количество, шт.	Производительность, м ³ /мин	Давление, даПа	Рудник	Количество, шт.	Производительность, м ³ /мин	Давление, даПа
БКРУ-1 до 2000 г.	6	1240-3000	6-20	СгКРУ-1	2	1560-1630	10-15
БКРУ-2	2	1300-3200	5-30	СгКРУ-2	1	1320	12
БКРУ-4	5	1800-2200	6-24	СгКРУ-3	2	1700-1860	8-15
СКРУ-1	4	1250-1600	5-10	СгКРУ-4	1	1600	10
Итого:	17	-	-	Итого:	6	-	-

С помощью ППВУ (ПВВУ) утечки воздуха удается доставлять к ВМП. Таким образом, потери внутри рудников снижаются, и, следовательно, потребность в подаче с поверхности свежего воздуха снижается. Рациональное использование вентиляторных установок – залог снижения энергетических затрат на проветривание при сохранении безопасности ведения горных работ.

При расположении ГВУ на поверхности земли, на промплощадке рудника, при работе в нагнетательном режиме, воздух с поверхности подается к местам ведения горных работ

(забоям). От избыточного давления создаваемого ГВУ в выработки рудника с поверхности земли подается воздух, при этом затраты на депрессию значительны уже возле устья ствола, в районе сопряжения вентиляционного канала с шахтным стволом. Сечение вентиляционного канала во много меньше сечения шахтного ствола, и место сопряжение этих выработок строится под углом $45-90^0$, все это создает не благоприятные условия повышая сопротивление вначале вентиляционной сети. Так же вследствие низкой герметичности установочного комплекса создаются большие утечки воздуха в независимости от режима работы вентилятора будь то всасывающая или нагнетательная схема. Утечки воздуха составляют от 7 до 70%. Так, на 1-м Соликамском калийном руднике утечки воздуха в надшахтном комплексе (скипо-клетевой ствол) доходили до 75% (данные 1995 года), на 2-м Соликамском калийном руднике (скиповой ствол) – до 60%.

Для реальных условий рудника Второго Березниковского калийного рудоуправления применены вентиляторные установки главного проветривания с осевыми вентиляторами ВОД-30 МС, выпускаемыми серийно Донецким машиностроительным заводом и позволяющими удовлетворить потребность в воздухе данного рудника большой производственной мощности (6 млн. т руды в год) [7-23]. Диаметр рабочего колеса вентилятора ВОД-30 МС равен 3,0 м, его подача составляет $130 \text{ м}^3/\text{с}$, напор 405 даПа, масса вентилятора 27,6 т.

Установки расположены под землей на глубинах 340 - 390 м в подстилающей каменной соли, по одной на южном и северном крыльях шахтного поля. Для каждого вентилятора (рабочий, резервный) сооружается отдельная камера, что позволяет уменьшить размеры камеры и повысить ее устойчивость. Размеры камеры: ширина 10,8 м, высота 9 м. В каждой камере установлен мостовой кран грузоподъемностью 12,5 т. Камеры соединяются с главным транспортным штреком с помощью монтажных сбоек. Подводящие и выходные каналы соединены с главными вентиляционными штреками.



Рисунок 1 - Фото монтажа ПГВУ шестое рудоуправление «Беларусь калий» РУП ПО

Проветривание рудника в рабочем режиме осуществляется путем всасывания воздуха из общей шахтной вентиляционной сети и выброса в атмосферу через главные

вентиляционные штреки и вентиляционный ствол.

В зарубежной практике для вентиляции шахт и рудников широко используются вентиляторные установки подземного размещения до 80% случаев. Не смотря на благоприятные климатические условия, которые позволяют эксплуатировать ГВУ на поверхности без размещения в здании, значительно упрощает схему поверхностного производственного комплекса и сокращает сроки на строительство. На территориях где длительный период отрицательных температур подземное размещение ГВУ влияет на надежность и стабильность работы вентиляторной установки, особенно в районах Крайнего севера. В подземных условиях исключается обмерзание лопаток вентиляторного агрегата. Исключаются затраты на обогрев здания ГВУ.



Рисунок 2 – Фото эксплуатации ГВУ для вентиляции подземного рудника без размещения в здании.

Современный опыт на медно-колчедановых рудниках в ОАО «Учалинский ГОК». Для этого объекта отдел вентиляции горных выработок ОАО «Уралмехнобр» выпустил и согласовал в установленном порядке «Специальный проект совместной системы вентиляции Учалинского и Ново-Учалинского рудников». В данном проекте применено подземное исполнение вентиляторной установки главного проветривания (ВУГП). Основной проблемой строительства подземной ВУГП, как известно, становятся стесненные условия и нехватка вентиляционных резервов. Общий вид подземной ВУГП представлен на рисунке 3.

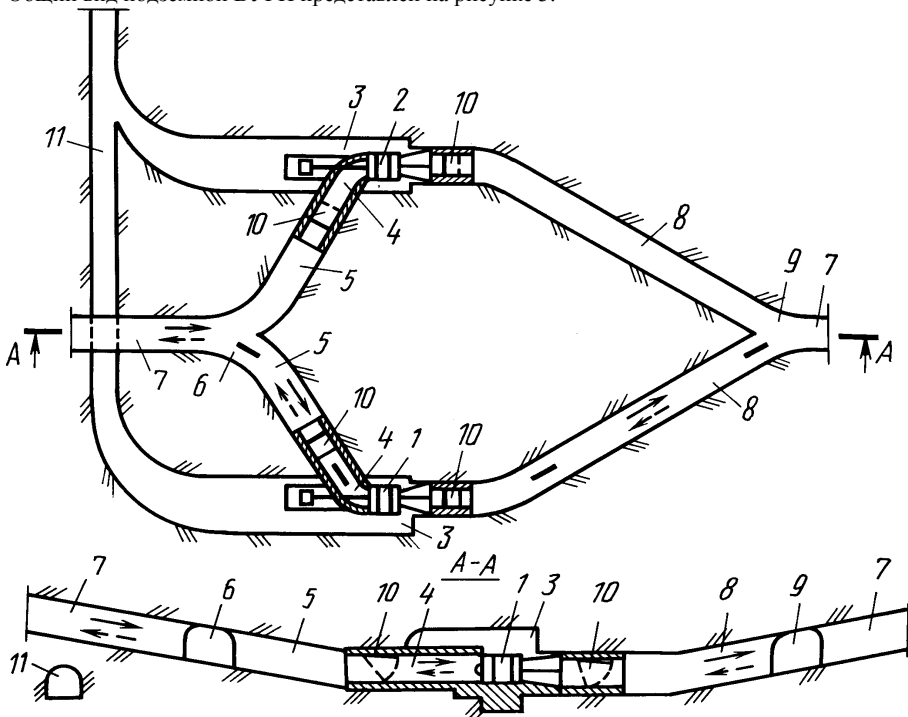


Рисунок 3 - 1 – вентиляторный агрегат, 2 – резервный вентагрегат, 3 – камера для вентилятора, 4 – колено, 5 – канал отводящий, 6 – сопряжение, 7 – выработки рудника, 8 – канал подводящий, 9 – сопряжение с выработками рудника, 10 – переключающие устройства (ляды), 11 – вспомогательные выработки для обслуживания ГВУ.

Реверсирование воздушной струи осуществляется изменением направлением вращения приводного электродвигателя с одновременным поворотом лопаток промежуточного направляющего и спрямляющего аппаратов на угол 180 град. Процесс реверсирования включает следующие операции: отключение приводного электродвигателя, торможение ротора, поворот лопаток промежуточного направляющего и спрямляющего аппаратов, пуск приводного электродвигателя в противоположном направлении вращения. Все операции реверсирования автоматизированы.

Производительность вентиляторов в реверсивном режиме составляет 60-70 % от производительности при нормальной работе.

Подземная вентиляторная установка главного проветривания работает следующим образом. Как в рабочем режиме, так и в режиме реверсирования воздушного потока может

работать либо рабочий вентилятор 1, либо резервный вентилятор 2 (по усмотрению гл. инженера шахты). Неработающий вентилятор 1 или 2 отсекают от работающего вентилятора лядами 10.

В рабочем режиме воздух за счет вращения ротора вентилятора поступает из общей шахтной вентиляционной сети в вентиляционный канал 7 и через тройник 6 попадает в подводящий канал 5, в колено 4, проходит через вентилятор, выходной канал 8, тройник 9 и через вентиляционный канал 7 подается в общешахтную вентиляционную сеть (направление воздуха на рисунке 3 - 2 показано сплошными стрелками).

Реверсивная работа установки осуществляется в обратном порядке по п. 1 (на рисунке 3 - 2 показано пунктирными стрелками).

Опыт российской школы и практика зарубежного горного производства показывают, что эффективность применения подземных ГВУ достаточно высока, примером служит сравнение сметной стоимости двух проектов (диаграмма рисунок 4), в которых производительность подземной и поверхностной ГВУ одинаковы, синим обозначены данные по подземной ГВУ.

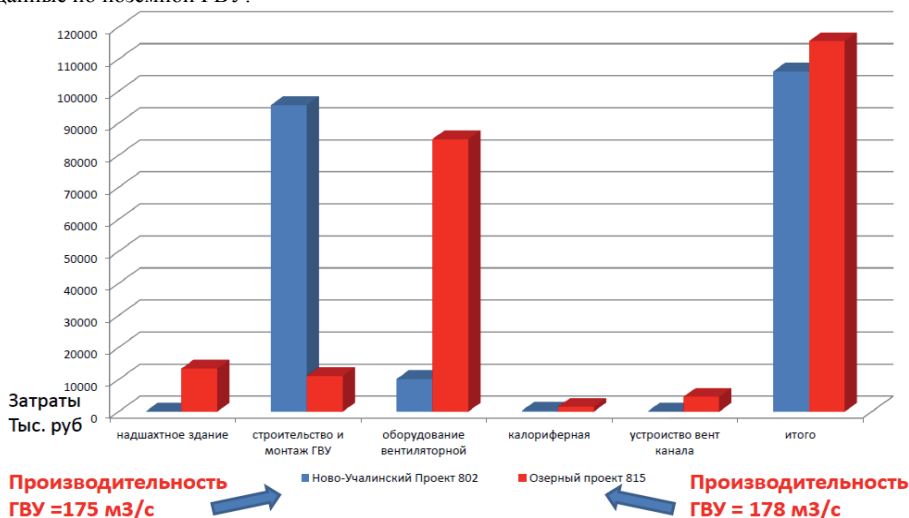


Рисунок 4 – Сравнительный график затрат подземной и поверхностной ГВУ, тыс. рублей

Таким образом, при одинаковых условиях строительство подземной ГВУ дешевле, а ее применение позволяет эффективно управлять воздухом в руднике, вследствие уменьшения прососов воздуха с поверхности, уменьшение рециркуляция воздуха. Повышается экономичная работа вентиляторов в подземных условиях, повышается управление воздушными потоками вследствие перепадов давления в пределах выработок рабочих горизонтов.

Следующим этапом развития будет каскадное применение нескольких вентиляторных установок, которые, как «конвейером» будут доставлять воздух от стволов к забоям. «Хвост» этого конвейера гибко подстраивается под изменения горно-технических условий и легко обеспечивает воздухом новые забой.

Список использованных источников

1. Пат. № 057945 РФ МКИ Е 21 F 1/08. Вентиляторная эжектирующая установка./ Папулов Л.М., Алыменко Н.И., Минин В.В., Чекмасов А.И., Норин А.А., Кемкин А.Л. (РФ) № 057945 Оpubл. 10.04.96, Бюл. №10 С. 23.
2. Пат. № 2067179 РФ МКИ Е 21 F 1/08. Вентиляторная эжекторная установка./ Алыменко Д.Н., Папулов Л.М., Алыменко Н.И., Минин В.В., Красноштейн А.Е. (РФ) №2067179

Опубл. 27.09.96, Бюл. № 25 С. 12.

3. Пат. № 2140541 РФ МКИ Е 21 F 1/08. Вентиляторная эжекторная установка./ Алыменко Д.Н., Папулов Л.М., Алыменко Н.И., Южанин А.С., Минин В.В. (РФ) № 2140541 Опубл. 27.10.99, Бюл. № 30 С.25.

4. Пат. № 2138648 РФ МКИ Е 21 F 1/08. Вентиляторная эжекторная установка./ Алыменко Д.Н., Папулов Л.М., Алыменко Н.И., Южанин А.С., Минин В.В., Красноштейн А.Е. (РФ) № 2138648 Опубл. 27.09.99, Бюл. № 27

5. Руководство по вентиляции труднопроветриваемых зон (ТПЗ) рудников Верхнекамского месторождения калийных солей. М. Госгортехнадзор РФ, 1995 г.

6. Технорабочий проект реконструкции Главной подземной вентиляторной установки 1-го калийного рудника Соликамского комбината. Заказ N 33 ВНИИГ. Проектно-изыскательское бюро. -Л.: 1949.

7. Романовский А.А., Черепанов Ю.Б., Чадов А.Н., Мохирев Н.Н., Подземная вентиляторная установка главного проветривания на руднике СКПРУ-1 ПО "Сильвинит", Известия Вузов. Горный журнал, N 11, (прототип).

8. Кара В.В., Пальчик Д.А., Переверзев И.П. Утечкам воздуха в шахтах – заслон // Безопасность труда в промышленности. –1989. -№ 6. –С. 31-32.

9. Алборов И.Д., Худиев Ч.М. Аэродинамическое сопротивление зон обрушения // Безопасность труда в промышленности. –1995. -№ 3. –С. 23-27.

10. Рабочий проект на реконструкцию вентиляции рудника Второго Березниковского калийного рудоуправления производственного объединения "Уралкалий" (1 очередь). Шифр 02.040-040. Уральский филиал ВНИИГ, Пермь, 1992.

11. Константинова С.А., Соколов В.Ю., Мисников В.А., Методика определения устойчивости выработок в соляных породах, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых N 3, 1990.

12. Исходные данные для проектирования вентиляционной системы удаленных панелей рудника с использованием эжектирующих установок на БПКРУ-2, ТОО НИВЦ "НИАМО", 1993.

13. Рабочий проект на реконструкцию вентиляции рудника БКПРУ-2 (1 очередь), УФ ВНИИГ, 1992.

14. Техническое описание и руководство по эксплуатации ПВВУ, Горный институт УрО РАН, 1994 г.

15. Выбор рациональных схем проветривания рудников БКПРУ-1 и БКПРУ-2 при реконструкции их вентиляционных сетей, ТОО НИВЦ "НИАМО", 1994.

16. Исследование возможности проветривания южного крыла рудника БКПРУ-2 источниками тяги небольшой мощности, ТОО НИВЦ "НИАМО", 1994.

17. ВДС рудника БКПРУ-2, ГИ УрО РАН, 1994 г.

18. Воздушная съемка по руднику БКПРУ-2, УВПГВ БПКРУ-2 АО "Уралкалий", 7.07.94 г.

19. Реверсия ГВУ N1 и N2, УВПГВ БКПРУ-2 АО "Уралкалий", ГИ УрО РАН, 2.06.94 г.

20. Перспективный план развития горных работ рудника БКПРУ-2 до 2000 года.

21. Документация на вентиляторы ВОД-30 МС.

22. Разработка и выбор средств нормализации проветривания рудников Верхнекамского месторождения калийных солей.(Этап: Выбор способов и средств нормализации вентиляции рудника БКПРУ-2 после ввода в эксплуатацию вентиляторов ВОД-30мс), ГИ УрО РАН, 1996 г.

23. ВДС рудника БКПРУ-2, ГИ УрО РАН, 1996 г.

24. Акт по результатам выполнения плановой газовой съемки проведенной на руднике БКПРУ-2, ГИ УрО РАН, 1996 г.

25. Отчет."Разработка систем вентиляции рудников с разнотипными источниками тяги в вентиляционных сетях, их испытание (на примере рудника БКПРУ-2)/тема N 3.06.14/95-96/(Заключительный).

9 О проектировании схем проветривания

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

В ходе плановой воздушно-депресссионной съемке в 2013 г., на подземном руднике «Мир», проведен комплекс измерений по соответствию ПБ 03-553-03. Анализ расходов воздуха, потребного для проветривания выработок рудника «Мир» АК «АЛРОСА» показал, что требуется количество воздуха, указанное в таблице 1.

Таблица –1. Результаты расчета потребного количества воздуха для основных потребителей – забоев и камер служебного назначения

№	Наименование выработки, камеры	м ³ /с
Гор.- 210 м		
1	Камера ожидания 30 человек	3,0
2	Вспомогательная насосная станция	1,1
3	Забой водосборника №3	20,8
4	Тупиковая выработка заезда на водоотливную установку	17,1
5	Камера главной водоотливной установки	5,0
Итого гор. -210 м		44,5
Гор.- 242 м		
6	Очистная лента панели 1 (отм. -242)	24,1
7	Очистная лента панели 2 (отм. -245)	26,8
8	Очистная лента панели 2 (отм. -230)	20,8
Итого гор. -242		72,9
Гор.- 265 м		
9	Очистная лента панели 3 (отм.-265м)	25,1
Гор.- 272 м		
10	Очистная лента панели 2 (отм. -275)	21,0
11	Очистная лента панели 3 (отм.-275м)	24,5
Итого гор. -272		45,5
Гор. -310		
12	Камера ожидания 30 человек	4,0
13	Участковая насосная станция	2,0
14	Подземный склад ВМ 8230,4 м ³	9,6
15	Камера обслуживания самоходного оборудования	11,5
Итого гор. -310 м		249,0
Гор. -410		
16	Проходческий забой-доставочный штрек	26,6
17	Проходческий забой - транспортный квершлаг	25,9
18	Проходческий забой – грузовая ветвь СС	25,9
Итого гор. - 410 м		30,7
Итого гор. - 690 м		1,5
Всего подача в рудник		316,6

Минимальное значение расхода воздуха для одного проходческого забоя, согласно таблицы 1 равно 17,1 м³/с. Максимальное - 26,8 м³/с. Очистные забои должны быть обеспечены от 20,8 до 26,8 м³/с. Проходческие забои от 25,9 до 26,6 м³/с. Суммарная потребность для всех 11 забоев 258,6 м³/с. Требуемая подача в рудник 316,6 м³/с.

Таким образом, согласно расчету, $((316,6 - 258,6)/258,6) \times 100\% = 15\%$ подаваемого в рудник воздуха, проходит мимо забоев. Это достаточный нормативный запас,

учитывающий неравномерность распределения воздуха в шахте.

Проектом определено количество свежего воздуха и рациональное воздухораспределение в вентиляционной сети шахты при максимальном развитии рудника на добычу 1000 тыс. тонн руды в год.

Анализ проектных решений, по которым строиться вентиляционная сеть рудника «Мир», проведен на Макро уровне, то есть по пути движения основного потока воздуха (рис. 1).

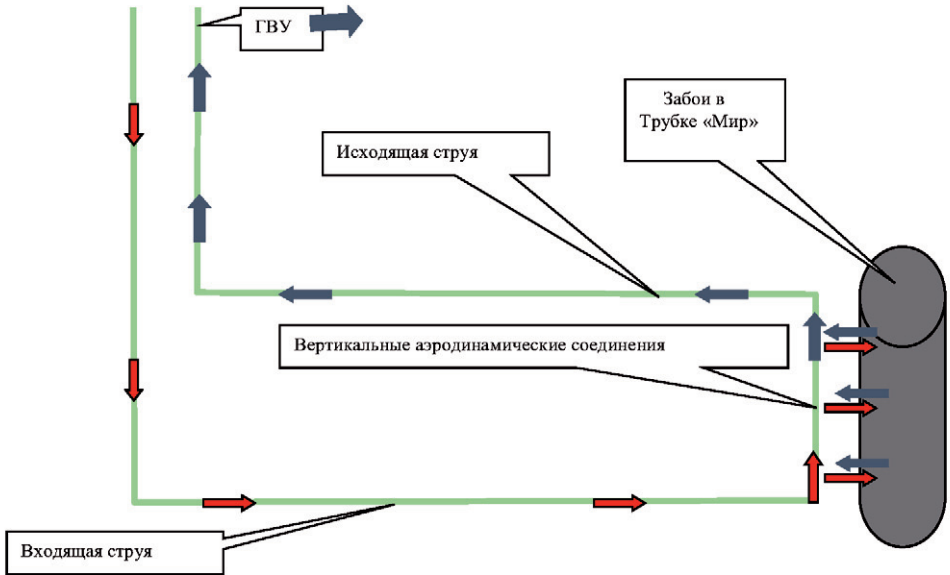


Рисунок 1 – Существующая схема вентиляции рудника, составленная на Макро уровне по основной струе, подаваемой в очистные забои.

На рисунке 1 отражены элементы проветривания (забои очистных работ) в трубке «Мир» и элементы схемы вентиляции – ГВУ (источник тяги), выработки со входящей и исходящей струями (стволы, квершлагаи, штреки гор. -310 м, гор. -210 м), вертикальные аэродинамические связи (ВВ, ВХВ, рудоспуски, наклонный съезд – 15 вертикальных соединений (рис. 2)).

Существующая схема вентиляции рудника, составлена так, что основная струя воздуха проходит от стволов, и закорачивается до трубки «Мир».

Причем ВВ, ВХВ, рудоспуски (р/с), наклонный съезд (н/с) сосредоточены со стороны стволов или сбоку от трубки Мир. До зоны ведения очистных работ.

На очистные работы воздух подается в тупиковый забой с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП). То есть, для подачи воздуха, ВМП должно преодолеть депрессию главной вентиляторной установки (ГВУ), оттащить часть воздуха от основной струи дальше от основных путей движения воздуха.

Депрессия, создаваемая ГВУ -192,3 даПа. Депрессия ВМП с учетом потерь в трубопроводе значительно меньше - до 50 даПа на тупиковую часть забоя. Основные элементы проветривания, ради которых создана вентиляционная сеть, – забои, постоянно испытывают эффект недостатка депрессии для проветривания. Это фундаментальная проблема.

При этой схеме вентиляции, отключение ВМП, грозит образованием в забоях застойных зон, а управление подачей воздуха к всасу ВМП за счет общешахтной депрессии невозможно осуществить. На слоевые заезды может поступить только столько воздуха, сколько отташил ВМП от основной струи. Нет путей подачи дополнительного количества воздуха, как того требует ПБ 03-553-03 п.142. Проветривание забоев зависит от взаимодействия производительности ГВУ и ВМП и качества монтажа вентиляционного става.

Проектная система вентиляции рудника «Мир», создана так что забои оказываются вне схемы вентиляции, за периметром движения струй, а, следовательно, не под действие общешахтной депрессией, поэтому не выполняется ПБ 03-553-03 п. 116.

Принципиальное изменение схемы вентиляции рудника должно состоять в виде схемы где очистные забои охвачены контуром подающей свежей струи и находятся внутри контура общешахтной депрессии.

Развитие анализа схемы для рудника «Мир» проводится на локальном уровне. Локальный уровень анализа ограничен схемой проветривания одного из слоев очистной выемки (типовое решение схемы для рудника «Мир»), представленной на рис. 2.

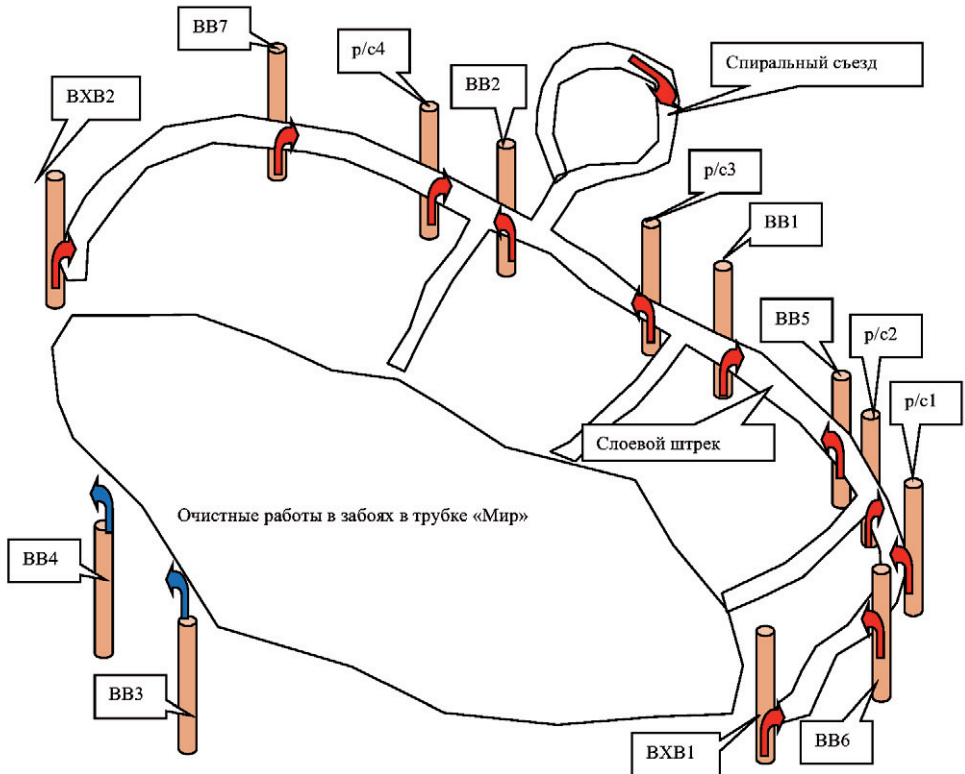


Рисунок 2 – Существующая проектная схема подачи воздуха к очистным работам в слое, возникающая за счет закорачивания общешахтной депрессии, красные стрелочки – свежий воздух, синие – исходящая струя.

Общешахтная депрессия организована в руднике «Мир» так, что с гор. - 310 м по

всем вертикальным выработкам воздух идет вверх на гор. - 210 м. Короткое замыкание между горизонтами не поддается управлению, так как количество выработок, между которыми должен идти воздух, составляет 15 штук.

Воздух поступает на слоевые выработки, а сбрасывать исходящую струю не представляется возможным. В данном случае, возможна рециркуляция воздушного потока. Прямой проход воздуха мимо очистных слоев по ВВ, рудоспускам (р/с), и ВХВ остановить или контролировать, практически не представляется возможным. Это утечки воздуха согласно ПБ 03-553-03 п. 121.

Можно сократить ВВ без ухудшения схемы. При этом исходящая струя направляется по спиральному съезду (рис. 3).

Практика показывает, что исключить из схемы проветривания р/с, значительно труднее, чем засыпать ВВ пустой породой. Однако сверху на нерабочих слоях и гор. - 210 м р/с можно пересыпать пустой породой, расклинив в устье р/с крупные куски породы или деревянные клинья. Засыпка высотой из породы не менее чем метр, полностью исключит утечки. Засыпку можно применить по типу быстровозводимого вентиляционного сооружения.

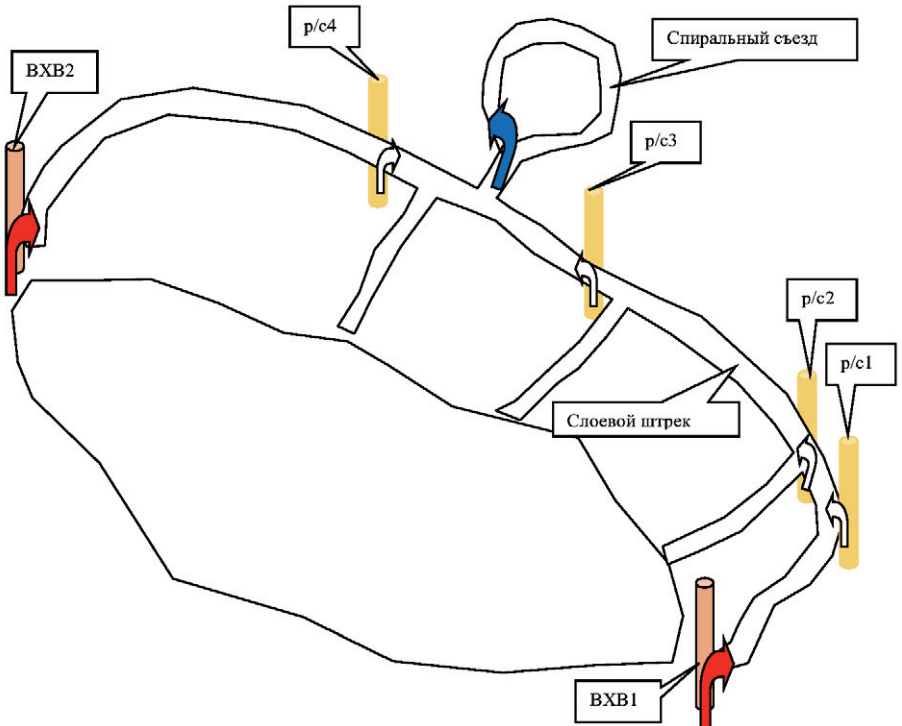


Рисунок 3 – Подача воздуха к очистным работам в слое за счет общешахтной депрессии

Перераспределение подачи воздуха к очистным работам в слое за счет общешахтной депрессии рекомендуется выполнить так, чтобы входящая свежая струя воздуха поступала по ВХВ №1 и ВХВ №2. По р/с №1, №2, №3 и №4. Так же может

поступить дополнительное количество воздуха, но это количество воздуха должно разбавляться свежей струей, так как запыленность воздуха, поступающего через р/с повышенная.

При циклической доставке руды из забоев, время работы (пропуска руды по р/с) составляет несколько секунд за час.

Количество воздуха, проходящее по пути от ВХВ до спирального съезда, достаточное для снижения концентрации любых вредных веществ (газа, пыли, выхлопов машин с ДВС) ниже ПДК. Это количество воздуха соединяется с расходом воздуха идущим от другого ВХВ с противоположного фланга. Соединяясь обе струи имеют расход воздуха в два раза больший, чем требуется для поддержания состава воздуха не выше ПДК. Значит одновременно по спиральному съезду от одного слоя очистных работ до другого могут проходить две машины с ДВС.

Однако, рудная подготовка и схема сквозная проветривания (рис. 4) оказались наиболее эффективными для рудника «Мир».

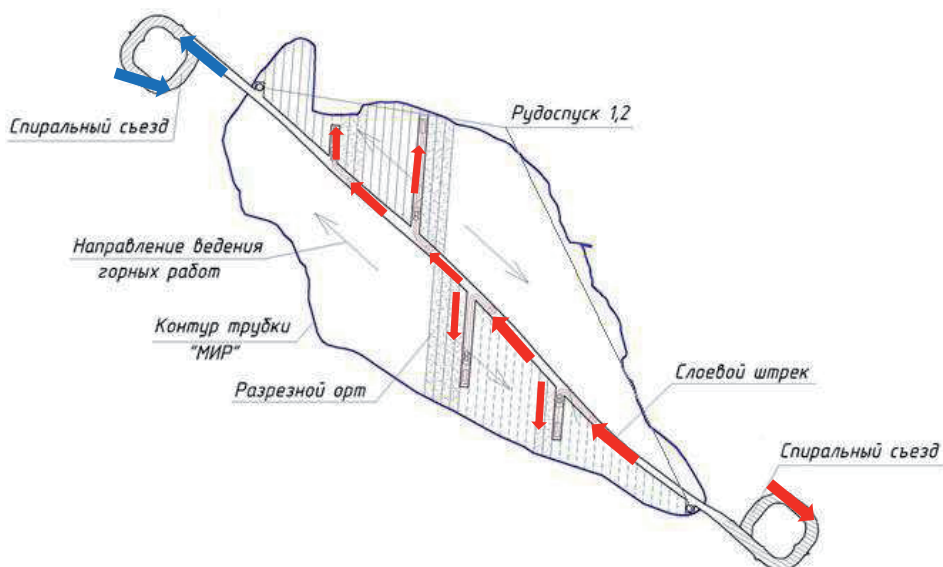


Рисунок 4 – Схема проветривания трубки с рудного штрека

Объем выработок пройденных по пустым породам при существующей схеме отработки слоев, состоящий из слоевого штрека, больше объема второго спирального съезда (рис. 4). Таким образом, объемы проходки по пустым породам не увеличатся.

Проходка рудного штрека может вестись сплошной выемкой кимберлита – послойным снятием руды на высоту двух штреков, последующим заполнением закладкой одной высоты. Ширина выработки, вынимаемая под закладку в два раза шире оставляемой пустой (будущего штрека). Под закладкой проходится следующий рудный штрек. Из пройденных заранее рудных штреков ведётся слоевая выемка.

При двух наклонных съездах не только улучшится управляемость вентиляции с прямой подачей, но это позволяет разделить потоки транспорта и организовать безопасные запасные выходы. Составление схемы проветривания является стратегически

важной задачей. На стадии проекта схема проветривания должна учитывать все особенности конкретного объекта, с запасом мощностей подачи воздуха и с учетом перспектив развития рудника, при этом необходимо максимально повышать эффективность работы ГВУ.

10 Определение требуемого расхода воздуха, вследствие геологических особенностей подземного рудника «Мир»

ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

В связи с окончанием ведения открытых работ в 2001г. кимберлитовую трубку «Мир» отрабатывают подземным способом. Подземный рудник «Мир» по состоянию на 2012г. имеет два вертикальных ствола глубиной более километра и три горизонта, на двух из них ведутся очистные работы (рис. 1). Производительность рудника составляет 500 тыс. тонн в год.

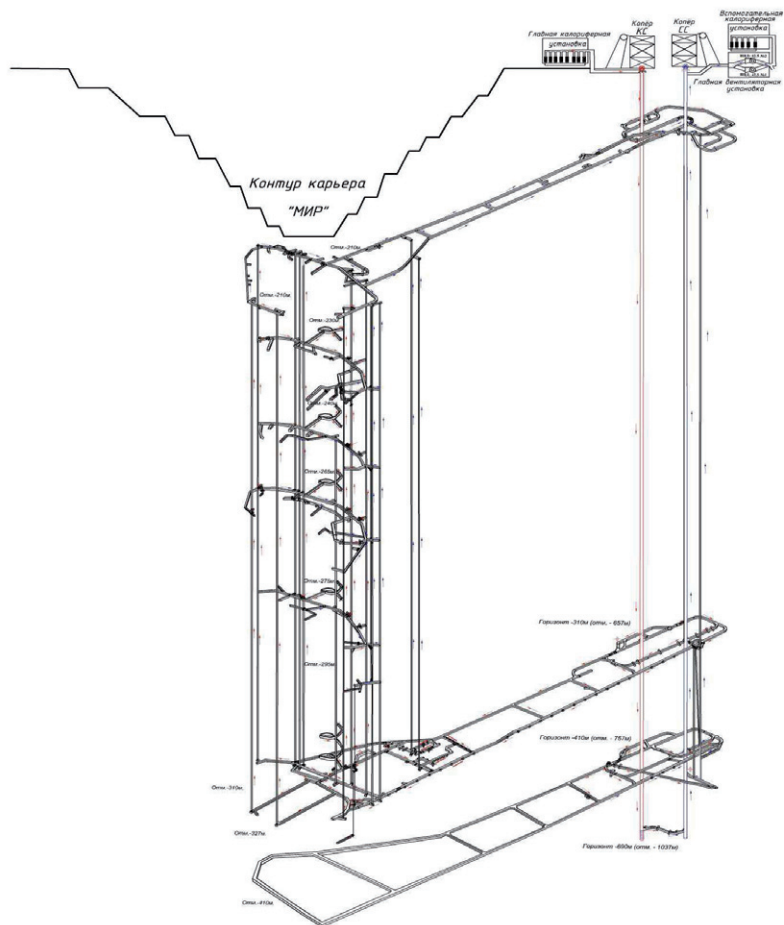


Рисунок 1 - Схема вскрытия рудника «Мир» АК «АЛРОСА»

Геологической особенностью данного района, является наличие агрессивных подземных вод Метегеро-Ичерского горизонта, чье влияние значительно усложняет ведение горных работ. (рис. 2). Для предотвращения отрицательного влияния на ведение подземных горных работ от карьерных вод Метегеро-Ичерского водоносного горизонта, приняты технологические решения. Они представляют собой мероприятия по изоляции, с помощью геомембраны и железобетонного цемлика. Но этих мероприятий оказалась недостаточно, водоприток в рудник по данным на 2012г. составляет 170 м³/час.

В рабочем порядке, силами рудника «Мир», с помощью водоотлива, и тампонажных работ удается контролировать водоприток в горные выработки. Но этот процесс трудоемкий, он требует больших затрат, комплекса подготовительных выработок, расхода материалов, оборудования и т.д. Вследствие значительного притока воды производительность рудника снизилась до 340 тыс. тонн в год.



Рисунок 2 – фото дна карьера «Мир» с поверхности земли, с истечением агрессивных вод Метегеро-Ичерского водоносного горизонта 1200 м³/час, май 2012г..

Вентиляция рудника осуществляется с помощью работы ГВУ с вентиляторным агрегатом ВЦД-42,5 «Север», работающего во всасывающем режиме. При этом свежая струя воздуха, через калориферную, по вентиляционному каналу, проходит по клетевому стволу, затем по выработкам горизонта на штреки к очистным работам. Исходящая струя воздуха выдается на поверхность по направлению грузопотока руды в обратном порядке, по скиповому стволу к вентиляторной установке.

Согласно ПБ 03-553-03 п. 114. Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом: «Организация проветривания и количество воздуха, должны определяться для каждого месторождения по специальным методикам».

При разработке методики организации проветривания и расчета количества воздуха, для подземного рудника «Мир» Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА», нами обработаны исходные данные, а именно ежемесячный замер количества воздуха, силами

ПВС и ВР. По данным замерам составлен акт. Анализируя данные, указанные в акте, выполнен баланс воздуха, участвующего в проветривании рудника «Мир». По результатам замера определена разница, между поступающей - свежей струей воздуха, и исходящей, которая на 12 м³/с больше, чем поступающая в рудник. Наличие разницы подтвердили дополнительные замеры количества воздуха, выполненные в ходе командировки на рудник «Мир». (таблица 1)

Таблица 1 - Результаты замеров воздуха рудника «Мир»

Результаты замеров воздуха поступающего в шахту по гор. -310 метров и выбрасываемого из шахты по гор. -210 метров	
Горизонт -210 метров	Горизонт -310 метров
Закладочный квершлаг $S = 17,3 \text{ м}^2$ $V = 8,64 \text{ м/с}$ $Q = 154,6 \text{ м}^3$	Конвейерный квершлаг $S = 19,0 \text{ м}^2$ $V = 6,34 \text{ м/с}$ $Q = 120,5 \text{ м}^3$
Вентиляционный квершлаг $S = 22,8 \text{ м}^2$ $V = 4,8 \text{ м/с}$ $Q = 109,4 \text{ м}^3$	Транспортный квершлаг $S = 17,2 \text{ м}^2$ $V = 7,59 \text{ м/с}$ $Q = 130,5 \text{ м}^3$
$Q_{\text{общ}} = 264,0 \text{ м}^3$	$Q_{\text{общ}} = 251,0 \text{ м}^3$

Увеличение объема воздуха получено вследствие прососов, в результате связи рудника с атмосферой, в дне чаши карьера. Каверны и трещины образованы под действием агрессивных вод.

Метеоро-Ичерский водоносный горизонт является напорным, по оценкам гидрогеологов до 50 атм. В следствии прошествии времени, под действием тяжести воды, произошло нарушение целостности защитного барьера между отработанным карьером и подземным рудником.

В воде растворены минералы и соли, это не позволяет ей замерзнуть даже в период отрицательных температур, что характерно для района этой местности в преобладающем большинстве. Поэтому происходит постоянное размывание горных пород, в следствии чего воды мигрируют в горные выработки, нарушая целостность пород, тем самым не обеспечивая ее герметичность.

При работе ГВУ во всасывающем режиме создается разрежение, которое способствует проникновению в рудник воздуха, совместно с агрессивными водами, насыщенными в большей мере растворенными в них газами сероводорода и его гомологами. Особенно это заметно в период отрицательных температур окружающей среды, как следствие возникновения естественной тяги.

Холодный воздух, обладает большей плотностью, тяжелее чем теплый и стремится «опуститься вниз» по нарушениям в горные выработки. По данным воздушно-депресссионных съемок на руднике «Мир», естественная тяга достигает 100 м³/с., что на 2012 год составляет 30% в зимний период, от общего количества подаваемого в рудник воздуха, который составляет 300 м³/с. В условиях подземных рудников АК «АЛРОСА», явление естественной тяги играет важную роль и должно учитываться при проектировании данных месторождений.

Воздух из чаши карьера по геологическим нарушениям, трещинам и разломам попадая в подземные горные выработки участвует в проветривании всего рудника. Что является нарушением ПБ 03-553-03 п 122. («Запрещается подача свежего воздуха к

рабочим зонам и удаление исходящей струи через завалы и обрушения, кроме случаев ликвидации аварии»). Воздух насыщенный сероводородом, необходимо разбавлять до предельно допустимых концентраций, т.е. объем полученный в результате прососов 12 м³/с требует дополнительного количества подаваемого «чистого» воздуха до установления ПДК в его составе. п. 114 ПБ 03-553-03. Устранив приток воздуха из карьера, возможно, снизить общее количество воздуха, требуемое для проветривания рудника.

Расчет миграции воздуха и ожидаемый водоприток в таких случаях, можно вести по формулам:

Газопроницаемость это свойство горных пород пропускать газ благодаря наличию в них сообщающихся между собой пор или трещин, выражается в единицах дарси. Таким образом движения воздуха, по нарушениям можно определять:

$$Q_1 = \frac{k \times F \times (p_1^2 - p_2^2)}{2 \times \mu \times h}; \quad (1)$$

где Q_1 - весовое количество газа, проходящее за 1 сек. через породу и выражаемое в см³, по отношению к нормальному давлению;

p_1 и p_2 - разность давлений газа на нижней и верхней гранях породы, ат;

F - площадь поперечного сечения породы, см²;

h - толщина породы, целика горного массива см;

μ - вязкость газа в сантипуазах;

k - коэффициент газопроницаемости в единицах дарси. Определяется по ГОСТ 26450.2-85.

Закон Дарси - определяет расход однородной жидкости через пористую среду при ламинарном режиме потока следующей формулой:

$$Q_2 = \frac{k \times F \times (p_1 - p_2)}{\mu \times L}; \quad (2)$$

где: Q_2 - расход жидкости, см³/сек;

k - коэффициент проницаемости, дарси;

F - площадь фильтрации пористой среды, см²;

$p_1 - p_2$ - разность давлений, созданных на концах испытуемого образца, ат;

L - длина испытуемого образца породы, см;

μ - абсолютная вязкость жидкости, сантипуазы. На основании закона Дарси определяют коэффициент проницаемости k - весьма существенную величину для характеристики физических свойств пород:

$$k = \frac{Q \times \mu \times L}{F \times (p_1 - p_2)}; \quad (3)$$

Дарси - единица измерения проницаемости - называют проницаемостью такой пористой среды, через поперечное сечение которой площадью 1см² при перепаде давления 1ат на 1см расход жидкостью в 1 сантипуаз.

Размерность проницаемости площади (см²).

3.Ед. измерения пористости - m1 в %

4.Ед. вязкости - газа при 0°С составляет 0,000131 пуаза; тогда как вязкость воздуха при 0°С равна 0,000172 пуаза.

Так же возможно расчет производить по формуле Дюпюи – которая определяет дебит гидродинамически совершенной скважины (трещина, разлом) при плоско-

радиальном подтоке к ней однородной несжимаемой жидкости в условиях напорного режима и линейного закона фильтрации

$$Q = \frac{2 \times \pi \times k \times h \times (p_k - p_c)}{\mu \times \ln \times \frac{R_R}{R_c}}; \quad (4)$$

где k -коэффициент проницаемости, дарси;

h - мощность пласта, см;

P_k и P_c -давление на контуре питания и в скважине, ат;

R_k и R_c -радиусы контура питания и скважины, см;

μ - вязкость жидкости, сантипуазы;

Q_f - дебит скважины, см³/сек.

Анализируя формулы (1) и (2) описать совокупный процесс движения воды и газа, как определение их суммы. При этом коэффициенты формула (1) h - толщина породы, целика горного массива см; формула (2) L - длина испытываемого образца породы, см; определяют одно целое и возможно записать как h . Так же коэффициенты F и k формула (1) (2) являются исходными данными одного и того же. Три этих параметра можно записать как коэффициент $k_{общ}$, который можно найти как:

$$k_{общ} = \frac{k \times F}{h}; \quad (5)$$

где, k - коэффициент проницаемости, дарси;

F - площадь фильтрации пористой среды, см²;

h - толщина породы, целика горного массива см;

Совместная проницаемость воды и газа можно записать, как $Q_{общ}$,

$$Q_{общ} = k_{общ} \times \left(\frac{(p_1^2 - p_2^2)}{2 \times \mu_1} + \frac{(p_1 - p_2)}{\mu_2} \right); \quad (6)$$

где, $(p_1^2 - p_2^2)$ - разность давлений газа на нижней и верхней гранях породы, ат²;

$p_1 - p_2$ - разность давлений, созданных на концах испытываемого образца, ат;

μ_1 - вязкость газа в сантипуазах;

μ_2 - абсолютная вязкость жидкости, сантипуазы.

Данная формула, не противоречит законам гидро и газодинамики, достаточно точно описывает процесс. При этом можно установить ряд зависимостей между совокупностью движения воды и газа, по нарушениям горных пород.

Полученные результаты расчета, (по формулам 1, 2, 3, 4) можно представить в виде простейших графиков. (Рис 4.) Где ось абсцисс количественное значение притока воздуха или воды в единицу времени, а ось ординат замеры выраженные во временном отрезке (месяц, квартал, год). Так же возможно наложение двух графиков при условии общих единиц измерения для нахождения зависимости влияния миграции воды на движение воздуха.

Графоанализ в этом случае даст возможность прогнозирования миграции воздуха и воды в горные выработки в результате нарушения целостности оставляемых целиков горных пород.

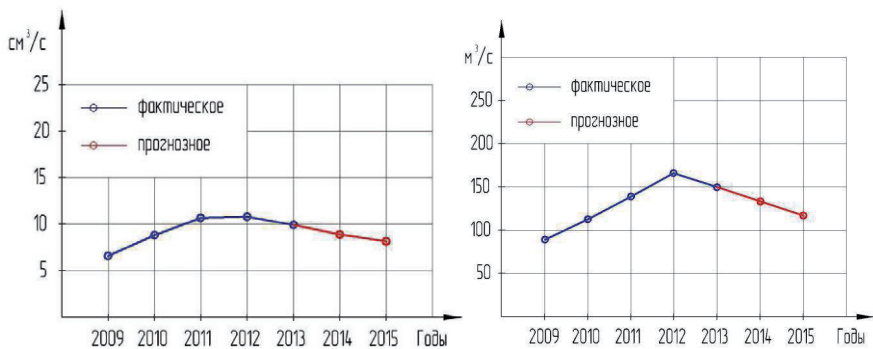


Рисунок 3 – Построения прогнозных графиков - слева утечки воздуха, справа водоприток.

Одна из возможностей решить сложившуюся проблему, воздухопроницаемости в горные выработки- это изменить способ проветривания. При этом значительно снизить водоприток.

Работа ГВУ в режиме нагнетания, не только исключит прососы воздуха, но и создаст естественный барьер водопритоку в рудник. Техническая возможность опрокинуть струю шахтного воздуха имеется, но при этом исходящая струя воздуха будет направлена по клетевому стволу, где производится спуск подъем людей. Это решение влечет за собой ряд мероприятий по борьбе с выносом пыли, образующейся при отбойке горной массы. Так же необходим постоянный контроль, за составом шахтного воздуха, по наличию в нем, вредных для здоровья газов.

Вплотить идею работы ГВУ ВЦД-42,5 в режиме нагнетания возможно. Для этого необходимо вентиляционный канал со скипового ствола в наземном исполнении тем же

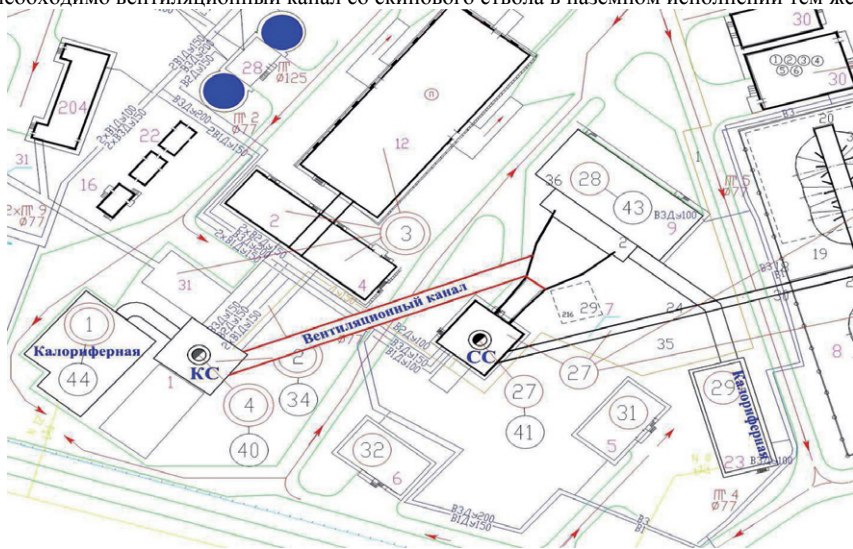


Рисунок 4- Проектируемый нагнетательный вентиляционный канал от ГВУ к клетевому стволу

сечением монтировать к клетевому стволу. (рис. 4) При этом режиме работы необходимо герметично перекрыть часть действующего канала вентиляционной лядой.

Длина вновь возводимого вентиляционного канала составит около 150 м в длину. В качестве примера вентиляционного канала в наземном исполнении, вентканал рудника «Интернациональный», который эффективно действует по настоящее время. (рис. 5)



Рисунок 5 – Конструкция наземного вентиляционного канала рудника «Интернациональный» АК «Алроса»

Так же, при работе ГВУ в данном режиме, необходимо разгерметизировать копер скипового ствола, предусмотрев вентиляционные проемы (окна). Увеличение подачи воздуха в рудник не приоритетно, так как производительность рудника остается постоянной, растет только число подготовительных выработок, при освоении глубоких горизонтов. При таких условиях ведения подземных горных работ необходимо управлять потоками воздуха в руднике, путем положительного регулирования.

Направив поток воздуха по клетевому стволу в режиме нагнетания, при реверсировании воздушной струи, можно обеспечить воздухом выработки главных направлений в количестве 60% от работы в нормальном режиме. Процесс реверсирования предусмотрен требованиями правил безопасности (ПБ 03-553-03 п. 136.), и соответствует нормам плана ликвидации аварий (ПЛА), разрабатываемого и принимаемого на руднике.

Применение проектного вентиляционного канала, для подачи воздушной струи по клетевому стволу (рис. 6), позволяет исключить из схемы проветривания главную калориферную установку. Обеспечить нагрев воздуха в момент отрицательных температур возможно, с помощью вспомогательной калориферной установки вблизи скипового ствола. Это позволит не поддерживать в работоспособности обе калориферные, что даст возможность снизить затраты. В качестве топлива в калориферных установках используют газ, это дорогостоящее сырье, для данной территории.

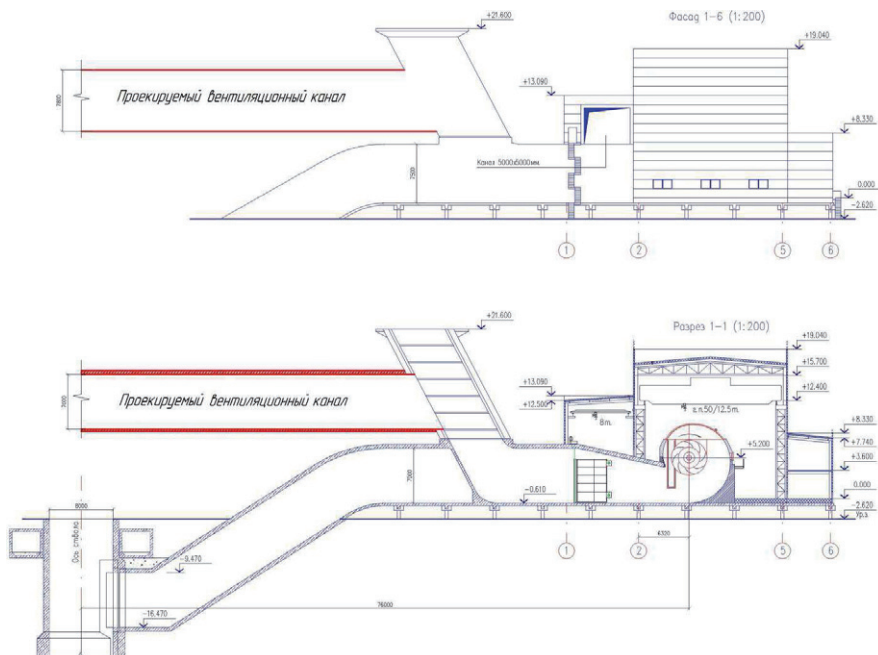


Рисунок 6 –Строительство нагнетательного вентиляционного канала рудника «Мир»

Режим проветривания играет ключевую роль, т.е. во многом определяет количество поступающего в рудник воздуха из атмосферы и приток воды, путем миграции их по нарушениям охранного целика. В рудник «Мир» по результатам замеров, поступает до 5% воздуха в результате прососа, при работе ГВУ во всасывающем режиме. В статье показан конкретный пример изменения схемы проветривания рудника, согласно требованиям ПБ 03-553-03. При этом нагнетательный способ значительно снизит водоприток, путем естественного подпора и исключит прососы воздуха. Водоприток возможно прогнозировать благодаря теоретической части по формулам описывающим фундаментальные законы гидродинамики. Расчеты дают возможность прогнозировать объемы поступающего воздуха, путем количественного изменения водопритока.

Список литературы

- Павловский Н.Н. Неравномерное движение грунтовых вод. Москва: Государственное техническое издательство, 1930 год. 65 с.
 - Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.
 - Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидравлика. М.: Недра, 1986. 303 с.
 - Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра, 1984. 208 с.
- УДК 622.44: 622.452: 622.81: 622.40

11 О положительном регулировании воздуха в рудниках подземной вспомогательной вентиляторной установкой главного проветривания

*ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.
ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович*

Проектной организацией ОАО «Уралмеханобр» разработано «Обоснование применения подземной передвижной вентиляторной установки (ПВВУ) в качестве главной вентиляторной установки (ГВУ) для проветривания опытно-промышленного участка 290/370 м., ООО «Башкирская медь». Месторождение «Юбилейное». Подземный рудник Хайбуллинский».

Настоящим обоснованием выполняются федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта", которые разработаны в соответствии с пунктом 3 статьи 4 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов". Федеральные нормы и правила устанавливают обязательные требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта.

В Единых правилах безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом, на прямую указывающего на применение ПВВУ в качестве ГВУ, для вентиляции подземных рудников. Однако ряд пунктов ПБ 03-553-03 несут такую смысловую нагрузку:

п. 116. Все шахты должны иметь искусственную вентиляцию. Проветривание подземных горных выработок только за счет естественной тяги не допускается. Вентиляция шахты должна быть организована так, чтобы пласты, горизонты, панели, блоки и камеры проветривались обособленно за счет общешахтной депрессии или вентиляторными установками, допущенными для этих целей. Иной порядок организации проветривания рабочих зон может быть установлен по согласованию с Госгортехнадзором России или его территориальными органами., а так же п. 123, п. 131, п.134, п. 135, п. 136, п. 137, п. 138, п. 139.

п.159. При наличии в краевых частях шахтных полей труднопроветриваемых зон для организации их эффективного проветривания допускается использование подземных передвижных (вспомогательных) вентиляторных установок (ППВУ, ПВВУ) в соответствии с руководством по вентиляции трудно проветриваемых зон, согласованных с Госгортехнадзором России.

Практически, ПВВУ применяется на ряде подземных рудников в качестве ГВУ, и имеет соответствующее разрешение Ростехнадзора. ПВВУ выполняет все функции и требования, возлагаемые на главную вентиляторную установку, обеспечивая эффективность вентиляции и соответствующую безопасность ведения горных работ.

Освоение месторождения "Юбилейное" начато с отработки открытым способом залежей II и III, расположенных в верхней части рудной зоны.

Проектная мощность карьера, на сегодняшний день, составляет 1 400 тысяч тонн сырой руды в год.

Кроме того, в рамках "Основного проекта", в проходке находятся два вертикальных ствола шахт "Южная Вентиляционная" и "Клетевая".

В соответствии и отработка месторождения Вскрытые запасы Юбилейного месторождения намечалось, вышеупомянутым проектом, четырьмя вертикальными стволами – «Клетевым», «Скиповым», «Южным Вентиляционным» и стволом шахты «Северная Вентиляционная». Проектом предусмотрено вскрытие запасов IV и V залежи месторождения, простирающихся до глубины 590 м, стволами шахт "Южная

Вентиляционная", глубиной 605 м, и "Клетевая", глубиной 1345 м, а так же пятью основными горизонтами:

- горизонт 290 м - вентиляционный;
- горизонты 370, 450, 530, 610 м - горизонты выпуска и откатки руды.

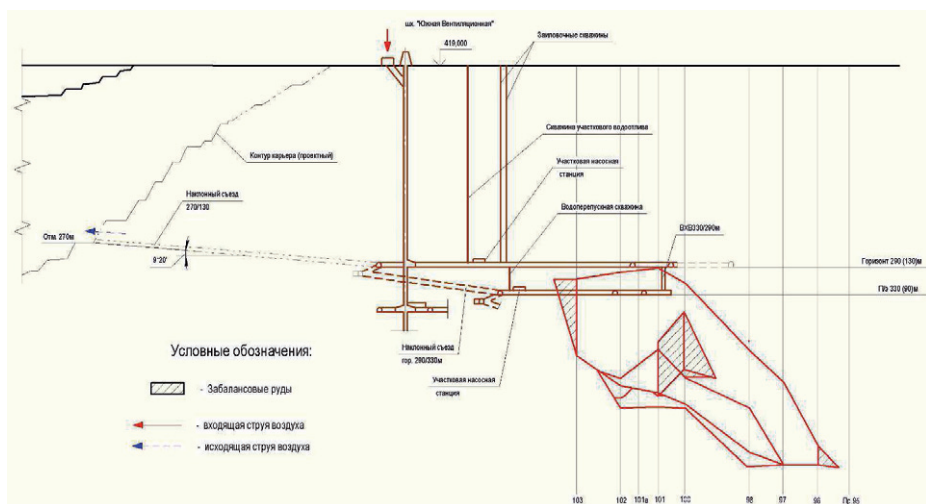


Рисунок 1.5.1 - Схема вскрытия опытно-промышленного блока месторождения «Юбилейное»

С целью сокращения срока начала отработки запасов IV и V залежи месторождения и опробования, выбранной проектом, системы разработки с обрушением вмещающих пород, предусматривается вскрытие верхнего подэтажа (опытно-промышленный участок), высотой 40 м, в этаже 290-370 м, с использованием ствола шахты "Южная Вентиляционная" и наклонного съезда, пройденного из борта существующего карьера, с отметки 270 м.

Функции вскрывающих выработок на момент отработки опытно-промышленного участка:

Ствол шахты «Южная Вентиляционная» – подача свежего воздуха; спуск-подъем людей, выдача породы от проходческих работ. Ствол оборудуется клетью под вагонетку ВГ-4,5А и лестничным отделением.

Наклонный съезд – выдача отработанного воздуха, доставка самоходного оборудования, ВМ и строительных материалов, откатка руды и породы от проходческих работ самоходным транспортом, запасной выход на поверхность.

Производительность опытно-промышленного участка составляет 240 тыс.т. руды в год.

Для определения потребного количества воздуха при производстве добычных работ на опытно-промышленном участке выполнен расчет, который производится позабойно суммированием потребностей отдельных забоев, действующих выработок, блоков, участков, панелей, пластов, общешахтных камер служебного назначения, с введением обоснованных коэффициентов запаса.

По данным расчета определено:

№ п/п	Количество воздуха поступающего на проветривание подземного рудника, м ³ /с		Отношение поступившего в шахту воздуха при реверсивном режиме к нормальному, %
	Нормальный режим проветривания	Реверсивный режим проветривания	
Летний период			
1	110,80	91.52	82,6
Зимний период			
2	108,83	95.59	87,8

Обоснование необходимости и достаточности принятых мер состоит в том, что согласно выполненному расчету в качестве вентиляторной установки главного проветривания опытно-промышленного участка применима ПВВУ как основной источник тяги.

Применение ПВВУ в подземных горных условиях, дает возможность положительного регулирования потоками воздуха. Распределение воздуха в проблемные места и в требуемом количестве, позволяет значительно сократить его утечки обеспечив необходимую безопасность.

Принцип работы ПВВУ заключается в следующем – в ПВВУ высоконапорный (эжектирующий) воздух, имеющий полное давление, вытекает из сопла и устремляется в смесительную камеру. Во входном сечении сопла эжектируемого воздуха устанавливается статическое давление, соответственно во входном сечении смесительной камеры статическое давление ниже полного давления эжектируемого воздуха.

Под действием разности давлений эжектируемый воздух устремляется в камеру смешения, относительный расход которого (коэффициент эжекции) зависит от площадей потоков (сопел) в сечении, плотности воздуха эжектирующего и эжектируемого, начального давления, режима работы ПВВУ. Хотя скорость эжектируемого воздуха обычно меньше скорости эжектирующего надлежащим выбором можно получить сколь угодно большое значение.

В камере смешения происходит выравнивание параметров воздуха по всему сечению.

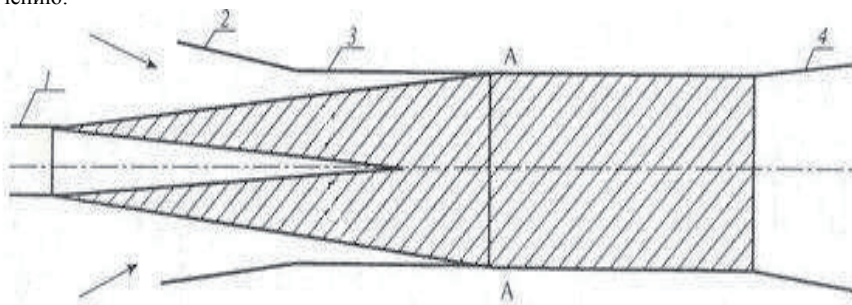


Рисунок 2.3.1 – Принципиальная схема течения и изменения поля скоростей и статического давления по длине камеры смешения. 1- сопло эжектирующего воздуха, 2 – сопло эжектируемого воздуха, 3 – камера смешения, 4 – диффузор.

Исходными данными для процесса вентиляции опытно-промышленного участка месторождения «Юбилейное», является подземная вспомогательная вентиляторная установка (ПВВУ). ПВВУ является источником тяги, в ее составе вентиляторный агрегат Atlas Copco AVH 125.

Установка ПБВУ представляет собой два вентиляторных агрегата установленные параллельно в сечении выработки относительно ее центра. Расположение и параметры установки вентиляторных агрегатов в выработке связаны с возникновением эжектирующего эффекта. Форма сечения выработки позволяет сформировать поток воздуха, таким образом, что возникнет эжекция. Аэродинамическая характеристика по паспорту Atlas Corco AVH 125 ограничена 42 м³/с согласно прилагаемых материалов. Расчетом определено требуемое количество подаваемого в рудник воздуха, оно составит 110,8 м³/с. Установка ПБВУ способна обеспечить до 155 м³/с.

Это подтверждено экспериментальными исследованиями модели ПБВУ, которые проводились в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского. Целью эксперимента было – определение аэродинамических характеристик модели ПБВУ, в первую очередь, расходных, и установление ее оптимальных геометрических параметров.

Вентиляцию опытно-промышленного участка возможно представить двумя этапами, рисунок 2.4.1 и 2.4.2. На первом этапе ПБВУ расположены на гор 290 м, одна в выработке околоствольного двора, вторая через 160 метров напротив камеры отстоя самоходного оборудования. Расположение вентиляторных агрегатов ограничивает свободный проход людей по сечению выработке в месте их установки. Поэтому ПБВУ расположены таким образом, чтобы рабочий персонал смог свободно перемещаться в выработках горизонта, для этого используя служебные камеры, камеру ожидания для ПБВУ в околоствольном дворе и камеру отстоя самоходного оборудования для второй установки ПБВУ. На первом этапе воздухом от работы ПБВУ обеспечены гор 290 м и подэтаж 330 м, где ведутся очистные работы. Все тупиковые забои при ведении проходческих работ обеспечены воздухом по средствам работы вентиляторов местного проветривания ВМП с гибкими трубопроводами. Типоразмер и расчетная производительность ВМП определена проектом «Горного проектно- строительного центра» 015-496-05-ИОС 7.2 Том 5.7.2, ВМЭ-12А.

Для выполнения требований ПБ 03-553-03 п. 114 Воздух поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2 град. С., ствол Южный вентиляционный оборудуется электрокалорифером СФО-250.

Организация вентиляции первого этапа строится следующим образом - свежая струя воздуха поступает с поверхности через калорифер СФО-250 по Южному вентиляционному стволу к выработкам гор 290 м где расположены источники тяги ПБВУ. Основная часть свежего воздуха направлена к очистным забоям горизонта 290 м. По камерам горизонта 290 м и двум вентиляционным восстающим воздух движется на подэтаж 330 м. Часть свежего воздуха с горизонта 290 м направлена по пути движения самоходного транспорта на дизельном ходу к наклонному съезду. Для ограничения подачи требуемого количества воздуха и обеспечения в нужном количестве воздуха очистных забоев, на сбойке гор 290 м и наклонного съезда установлено вентиляционного сооружение (Вентиляционный парус) два последовательно. Количество проходящего воздуха через вентиляционный парус 8,3 м³/с. Исходящая струя воздуха направлена по наклонному съезду и выдается на поверхность через порталы на борту карьера на отметке 270 м. При сбойке гор 370 м в общешахтную сеть начинается второй этап вентиляции.

Для реализации второго этапа вентиляции опытно промышленного участка, необходимо переоборудовать ПБВУ с горизонта 290 м на горизонт 370 м. Установка ПБВУ передвижная, она имеет каркасную основу. На гор 370 м ПБВУ устанавливается в околоствольном дворе, на расстоянии 10 метров между установками, напротив камеры насосной. Камера насосной используется для передвижения людей по горизонту 370 м. Выработки горизонта 290 м не участвующие в технологическом процессе выводятся из эксплуатации. Горизонт 290 м проветривается ВМП с трубопроводом ВМЭ-12А. Количество воздуха направленное на проветривание выработок горизонта 290 м определено расчетом. Производительность ВМП ВМЭ-12А обеспечит требуемое количество воздуха, которое составит 16,2 м³/с.

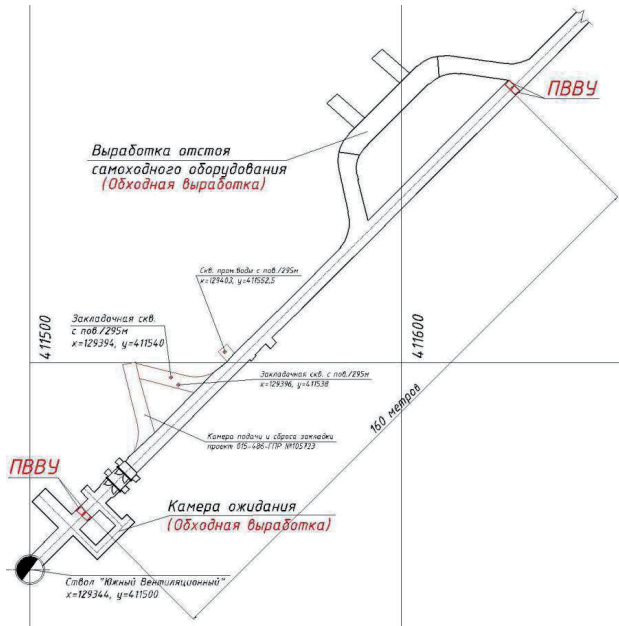


Рисунок 3 – Схема расположения ПВВУ на гор 290 м

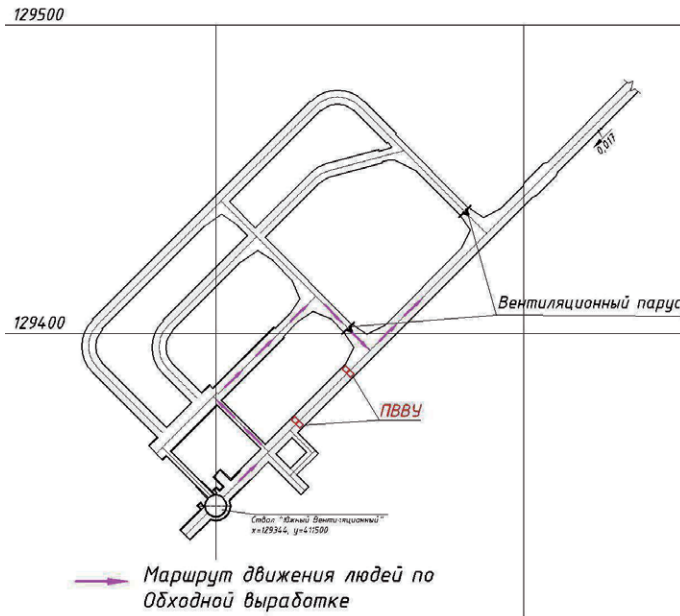


Рисунок 4 – Схема расположения ПВВУ на гор 370 м

$$S_{\text{вч}} = 16,5 \text{ м}^2; S_{\text{св}} = 16,0 \text{ м}^2$$

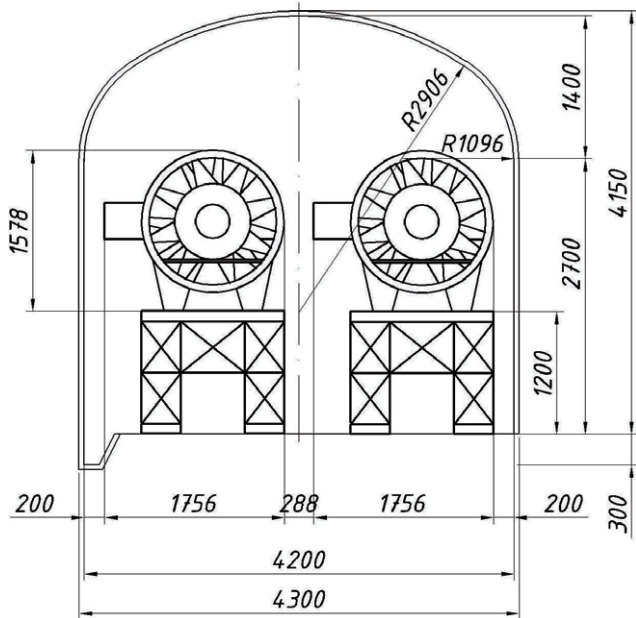


Рисунок 5 - Схема расположения ПВВУ в сечении выработки горизонта.

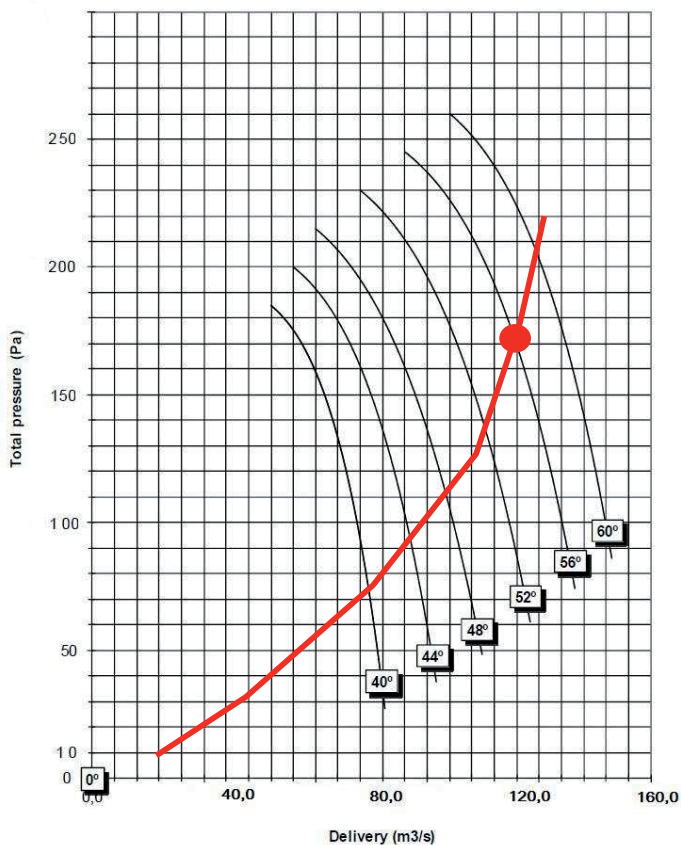


Рисунок 6 – Совместная аэродинамическая характеристика двух ПВВУ в составе четырех вентиляторных агрегатов с рабочей точкой. Производительность 110,8 м³/с, депрессия 159,0 Па.

На горизонте расположены две ПВВУ, по требованию ПБ 03-553-03 п. 134. Главные вентиляторные установки должны состоять из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов, причем один из них резервный. Вентиляторы для новых и реконструируемых установок должны быть одного типа и размера.

Два вентиляторных агрегата при одновременной работе обеспечат количество требуемого воздуха, такое же, как и один из них. Следовательно, дублирующий агрегат повлияет на увеличение, создаваемой депрессии, но не на увеличение подаваемого количества воздуха. В постоянной работе находятся две ПВВУ с двумя вентиляторными агрегатами, при чем одна из действующих ПВВУ резервная. Движение воздуха обеспечено по принципу «конвейера» от одной ПВВУ к другой последовательно обеспечивая требуемым количеством воздуха все действующие забои и выработки опытно-промышленного участка.

Данное обоснование позволит использовать ППВУ для проветривания опытно-промышленного участка с выполнением всех требований безопасности. Эффективность

работы ППВУ подтверждена не только теоретически, но и многочисленным практическим применением на подземных рудниках. Применение ППВУ на опытно-промышленном участке позволит отработать технологию ведения подземных работ на месторождении «Юбилейном», до окончательного строительства комплекса горных выработок и ввода ГВУ для отработки всего месторождения предусмотренного проектом.

Список использованных источников

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра, 1987.
2. Мохирев Н.Н., Попов А.С. Расчеты при проектировании вентиляции шахт, Издательство Пермского государственного технического университета, 2006.
3. Алыменко Н.И., Минин В.В., Вентиляторные установки и их применение, Екатеринбург, 1999.
4. Ушаков К.З., Справочник по рудничной вентиляции – М.: Недра, 1987.

12 Глобальное энергосбережение в условиях России

*ОАО «Уралмеханобр», начальник отдела вентиляции горных выработок Минин Вадим Витальевич, к.т.н.
ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович*

Для обогрева воздуха рудников, работающих в Сибири и на Дальнем Востоке, завозится топливо в объемах до 10 млн тонн солянки каждый год. Сжигание этого огромного количества топлива не приводит к повышению температуры в забоях, то есть люди работают в некомфортных условиях. При этом тепло разрушает вечную мерзлоту. Вместо положительного эффекта наступает авария. Так огромные средства тратятся не только безрезультатно, но и приносят еще больший ущерб.

Появление таких фактов, как уголь Коми, алмазы Якутии, никель Таймыра, золото Колымы или газ Ямала, выстраивается в логическую цепочку и указывает вектор магистрального продвижения отечественной промышленности в область вечной мерзлоты. Интенсивное освоение криолитозоны, находит свое отражение в объемах разведанных и прогнозных запасов углеводородов, золота, алмазов, олова, вольфрама, меди, сурьмы, ртути, никеля и других ископаемых.

Около 56 % действующих шахт, рудников ведут горные работы на территории Российской Федерации в условиях проявления вечной мерзлоты (рисунок 1).

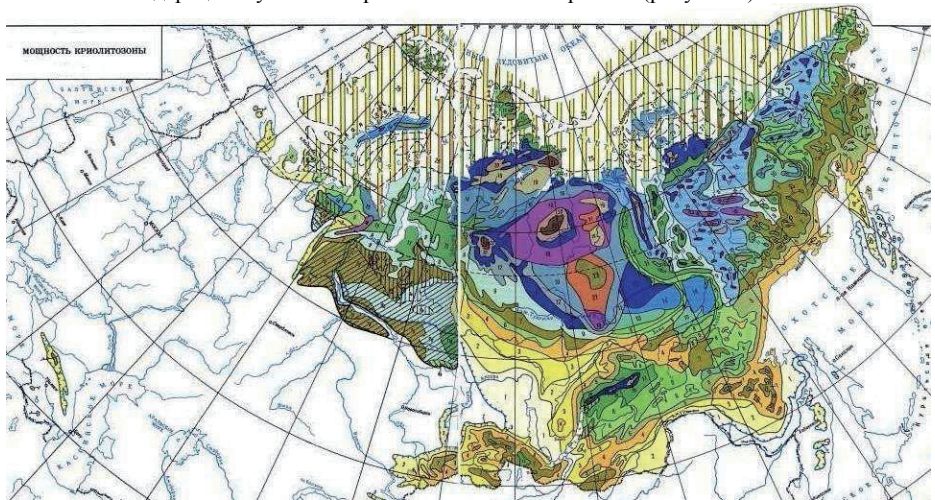


Рисунок 1. Территория с вечной мерзлотой – почти половина России

Натурные наблюдения и огромный опыт ведения работ в криолитозоне накоплены годами, по мере освоения минерально-сырьевой базы нефтегазовых, горно-металлургических предприятий. М. В. Ломоносов гениально предвидел северо-восточный тренд, он говорил о прирастании российского могущества Сибирью и Северным океаном.

Характерной особенностью «геологии Севера» является вечная (или многолетняя) мерзлота. Она несет с собой двоякую функцию. С одной стороны, делает процесс добычи труднодоступным и затратным. С другой – ее наличие обеспечивает безопасность ведения горных работ и добычу как таковую.

Криолит свидетельствует о том, что основным породообразующим минералом является лед (в виде пластов, жил), а также лед-цемент, «связывающий» рыхлые осадочные породы. Наиболее достоверно максимальная мощность криолитозоны (820 м)

была установлена в конце 80-х годов на Андылахском газоконденсатном месторождении. С. А. Берковченко в пределах Вилуйской синеклизы проводил региональные работы – прямые температурные измерения в значительном количестве скважин, многие из которых не эксплуатировались более 10 лет.

Бороться с вечной мерзлотой бессмысленно, поэтому необходимо принимать меры, чтобы приспособить ведение горных работ в условиях отрицательных температур к безопасным условиям, при этом достигая необходимых объемов добычных работ.

Деградация, или растепление, мерзлоты делает процесс добычи полезных ископаемых невозможным или как минимум неэффективным.

Изменения температурного баланса в криолитозоне обусловлены антропогенным и человеческим факторами. Повлиять на глобальное потепление климата и связанную с ним деградацию мерзлоты современная технология не может.

Поддается корректировке в первую очередь управление температурным режимом (п 114 ПБ 03-553-03). Проблема достаточно хорошо изучена, с учетом специфики месторождений внедряются технологии, проводятся технические мероприятия.

Одним из аспектов проблемы сохранения криолитосферы в подземных горных выработках является поддержка температурного баланса потоков воздуха, направляемого на проветривание выработок.

Растепление и разрушение стенок горной выработки с положительной температурой потока воздуха создает серьезные затруднения (оползни и обвалы рыхлых пород) и нередко приводит к тяжелым авариям (смятие сечения выработок, образование грифонов, провалов устья порталов и шурфов и т. п.). Доказано, что растепление мерзлой породы с потерей связанности наступает, когда порода передано количество тепла, достаточное не только для ее нагрева от естественной отрицательной температуры до 0 °С, но и для перехода содержащегося в породе льда-цемента в жидкое состояние. Поэтому при разработке месторождений в зоне многолетней мерзлоты пределы подогрева воздуха должны устанавливаться в зависимости от мерзлотно-геологических и горнотехнических условий месторождения.

Главной причиной перечисленных осложнений является нарушение температурного режима проветривания без учета теплообменных процессов между мерзлыми породами и шахтным воздухом. Например, в целях создания более комфортных условий труда практикуется обогрев шахтного воздуха, который пытаются «прокачать до забоя». Следовательно, налицо подмена целей: безопасность ведения горных работ и «живучесть рудника» в обмен на комфорт. При этом комфорт не достигается на практике.

Снять противоречие между безопасностью и комфортом призвана технология нерастепления горных выработок в криолитозоне. Она предполагает комплекс технических решений и организационных мероприятий для рудников.

Опираясь на результаты многолетних исследований, ученые института пришли к выводу, что практически можно обойтись без подогрева больших потоков шахтного воздуха, используя его локальный обогрев с комплексом мер по защите персонала от переохлаждения.

Таким образом, исключение излишнего обогрева шахтного воздуха повысит устойчивость выработок и безопасность горных работ, а также увеличит время эксплуатации рудника в условиях неблагоприятного антропогенного воздействия.

Для ведения подземных горных работ на месторождении с наличием вечномерзлых пород без обогрева воздуха необходимо выполнить работу по обоснованию безопасности нерастепления горных выработок, с последующим прохождением экспертизы промышленной безопасности и регистрацией в реестре Ростехнадзора.

Причиной разработки обоснования безопасности стал факт несоответствия физмеханических свойств горных пород вечной мерзлоты, в которых должны быть пройдены выработки рудника месторождения, по тепловому режиму вентиляции. Вследствие чего:

1. Нормативный показатель обогрева воздуха $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше не позволяет безопасно вести горные работы из-за растепления криолитозоны, потери цементирующего льда и обрушения несвязанных обломков горных пород и роста уровня напряженно деформированного состояния горных пород вокруг построенных сооружений (порталов, квершлаггов, штреков, ортов и камер служебного назначения).

Управление горным давлением на крепь выработок осложняется вентиляционным режимом рудника с обогревом шахтного воздуха от $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше круглогодично. В результате цементирующий блоки и отдельные куски горных пород лед, особенно в наносной части горного массива, теряет свои скрепляющие свойства, оплывает, превращается в таликовые воды.

Таким образом, не только утрачиваются несущие способности горных пород, увеличивается нагрузка на крепь, теряется связь крепи с горным массивом, но и наступает вторая стадия размыва таликовыми водами почвы горных выработок, а при приходе ее в криолитозону – повторное замерзание. Замерзание вод в мерзлых породах не только перекрывает и уменьшает проходные сечения горных выработок, влияет на надежную работу насосов водоотливных установок, но и за счет увеличения объема льда в сравнении с водой разрывает крепь, корежит ее и зачастую расширяет трещины в горном массиве. Это негативно сказывается на безопасности ведения горных работ во всем руднике.

2. Нормативный показатель обогрева воздуха $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ не выдерживается на всем пути движения воздуха, особенно в забоях и на рабочих местах, так как породный массив имеет огромный потенциал отрицательных температур.

3. Выполнением нормативного показателя обогрева воздуха $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ должны быть достигнуты комфортные условия труда горнорабочих, которых можно добиться с помощью других методов и средств. Примером тому служат открытые горные работы.

Обогрев воздуха $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше создает опасные условия эксплуатации в руднике и в то же время не позволяет иметь положительную температуру в забоях и на рабочих местах.

4. При подаче в рудник нагретого калориферными установками воздуха более $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ произойдет туманообразование вследствие разности температур выработок рудника и атмосферы. Это явление при отрицательных температурах горного массива передает холод, охлаждая воздух в подземных выработках. Теплый воздух с положительной температурой от калорифера удерживает больше влаги в сравнении с более холодным в горных выработках. При смешении воздушных струй происходит теплопередача с конденсацией водяного пара и образованием плотного тумана. Туманообразование в горных выработках по протяженности возможно от нескольких десятков метров до нескольких сотен, в зависимости от разности температур и влажности атмосферного воздуха. Туман рассеется в случае передачи отрицательного теплового режима свежей струе воздуха. Явление тумана значительно осложняет движение транспорта в горных выработках, передвижение рабочих. Травматизм персонала возрастает вследствие ухудшения видимости. Туман не будет образовываться при подаче воздуха в рудник с температурой $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже.

Технологическим решением при эксплуатации рудника в криолитозоне стало недопущение подогрева поступающего в шахту воздуха выше отрицательных температур. Остановливание оплывания и таяния льда. В естественных зимних условиях накопление холода в горном массиве за счет подачи в рудник воздуха с значительной отрицательной температурой, равной среднегодовой температуре промораживания криолитозоны многомерзлотного горного массива. В летний период использование аккумуляторов холода, запасенных в руднике в зимний период. Аккумуляторы представляют из себя пластиковые 5-литровые бутылки с водой, замороженные зимой на исходящей струе рудника, хранящиеся там же до повышения температуры выше критической, размещаемые (перевезенные по мере необходимости, исходя из проектного расчета,

представленного далее) в начале вентиляционного пути свежего воздуха по периметру горной выработки и портала.

Отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности связаны с ПБ 03-553-03 п 114. «Организация проветривания и количество воздуха, необходимого для проветривания отдельных выработок и шахты в целом, должны определяться для каждого месторождения по специальным методикам, согласованным с Госгортехнадзором России или, по его разрешению, с территориальными органами.

Расчет должен производиться позабойно суммированием потребностей отдельных забоев, действующих выработок, блоков, участков, панелей, пластов, общешахтных камер служебного назначения, с введением обоснованных коэффициентов запаса. Воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2 град. С».

Обоснование необходимости и достаточности принятых мер состоит в том, что согласно правилам безопасности ПБ 03-553-03 установлено требование: температура подаваемого в шахту воздуха должна обеспечивать защиту горных пород от растепления (п. 185 ПБ 03-553-03). А на шахтах с отрицательной температурой должны выдаваться специальные термосы (п. 452 ПБ 03-553-03). Требования Правил охраны недр (ПБ-07-601-03 п. 120) гласят: «При разработке россыпных и других месторождений подземным способом в условиях распространения многолетней мерзлоты в породах, склонных при оттаивании к самообрушению, обеспечиваются:

- создание в горных выработках условий, исключающих оттаивание горного массива и самообрушение горных пород;
- одновременная или опережающая отработка запасов в подмерзлотной зоне;
- применение систем разработки и технологии выемки полезного ископаемого с максимальным использованием механизированных комплексов и полным обрушением кровли».

Безопасность ведения горных работ ставится выше обеспечения комфортных условий труда (воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2 град. С – такое требование обусловлено созданием комфортных условий). Комфортные условия достигаются так, чтобы не повлиять на состояние горного массива, не допустить растепления горных пород. То есть локально имеет место обогрев воздуха в помещениях для временного отдыха и разрабатываются меры защиты от переохлаждения персонала.

В условиях соблюдения требований правил безопасности нецелесообразно строительство и применение общешахтного обогрева воздуха.

На основании № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» разработаны СанПиН «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» и СанПиН 2.2.2948-11 и методические рекомендации «Оздоровление условий труда и профилактика профессиональных заболеваний на золотодобывающих рудных шахтах Сибири и Крайнего Севера» (№ 2267-80), требующие наличия в документации специфических мер, которые необходимо выполнять.

Таким образом, опасно применять общешахтный обогрев воздуха, необходимо использовать локальные меры создания благоприятных условий работы в руднике. Конкретным отступлением от ПБ 03-553-03, стал раздел «Требования по проветриванию подземных выработок, пункт 114: «Воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2 град. С».

Для количественной оценки статистической однородности применяют критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова – Граббса и Диксона), критерии однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерии Стьюдента).

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения $P_{m,\%}$ характеристик растепления горной породы определяют по формуле:

$$P_{m,\%} = \frac{m}{n+1} 100, \quad (1)$$

где m – порядковый номер членов ряда характеристики, расположенных в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строят на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирают в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v .

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, как правило, применяют трехпараметрические распределения: Крицкого – Менкеля при любом отношении C_s/C_v , распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$, лог-нормальное распределение при $C_s \geq (3C_v + C_v^3)$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля или положительного значения до бесконечности. При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение C_s/C_v и аналитическое отношение C_s/C_v , свойственные данной функции распределения, приблизительно равны. При неоднородности ряда наблюдений (различные условия формирования льдопородного целика) применяют усеченные и составные кривые распределения вероятностей.

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение Q , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v устанавливают по рядам наблюдений за рассматриваемой характеристикой растепления методом приближенно наибольшего правдоподобия и методом моментов. На начальных стадиях проектирования допускается использование графоаналитического метода (метода квантилей).

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения Крицкого – Менкеля следует определять методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n-1), \quad (2)$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n k_i^2 \lg k_i \right) / (n-1), \quad (3)$$

где k_i – модульный коэффициент рассматриваемой логической характеристики, определяемый по формуле:

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (4)$$

здесь Q_i – погодичные значения расходов шахтной воды; \bar{Q} – среднеарифметическое значение расходов шахтной воды, определяемое в зависимости от числа лет наблюдений по формуле:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n \quad (5)$$

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии.

Коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s определяют методом моментов по формулам:

$$C_v = (a_1 + a_2/n) + (a_3 + a_4/n)\tilde{C}_v + (a_5 + a_6/n)\tilde{C}_v^2, \quad (6)$$

$$C_s = (b_1 + b_2/n) + (b_3 + b_4/n)\tilde{C}_s + (b_5 + b_6/n)\tilde{C}_s^2, \quad (7)$$

где $a_1, \dots, a_6; b_1, \dots, b_6$ – коэффициенты, определяемые для распределения Пирсона III типа и для распределения Крицкого – Менкеля; \tilde{C}_v и \tilde{C}_s – соответственно смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии, определяемые по формулам:

$$\tilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (8)$$

$$\tilde{C}_s = \frac{\left[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right]}{\left[\tilde{C}_v^3 (n - 1)(n - 2) \right]}. \quad (9)$$

При $C_v < 0,6$ и $C_s < 1,0$ коэффициенты вариации и асимметрии допускается определять по формулам (2.3.8) и (2.3.9) без введения поправок.

Результатом группового анализа является оценка параметра растепления горной породы по совокупности собственных и объединенных наблюдений в виде средневзвешенного по точности каждой из оценок:

$$A_{\text{совм}} = \frac{A_{\text{инд}} \varepsilon_{\text{ср}}^2 + \overline{A} \varepsilon_{\text{инд}}^2}{\varepsilon_{\text{инд}}^2 + \varepsilon_{\text{ср}}^2} \quad . (10)$$

Метод анализа условий безопасной эксплуатации рудника завершается результатом группового анализа и состоит из оценки параметра растепления горной породы по совокупности собственных и объединенных наблюдений в виде средневзвешенного по точности для каждой из оценок.

Опасность растепления в результате отклонения технологических параметров вентиляционного режима от требований п. 185 и соблюдение п. 114 грозит потерей льда-цемента, его подвижностью или истечением таликовых вод. Прочностные свойства горных пород полностью теряются, и окружающий массив превращается в груды, насыпь с непредсказуемыми и не подлежащими определению расчетом параметрами. Ведение горных работ в условиях растепления грозит обвалом или обрушениями надлежащих горных пород, вывалами из стенок горных выработок, вспучиванием почвы и неконтролируемым разрастанием забоя.

Ведение горных работ при растеплении горного массива многократно становится более опасным и непредсказуемым, так как свойства горных пород начинают постоянно меняться.

Опасно не только само растепление, но и периодическое оттаивание и замораживание. Вода начинает действовать в таких условиях как непредсказуемый элемент разрушения горного массива, то расширяясь льдом, то утекая из заполненных трещин и полостей.

Постоянное поддержание отрицательных температур при вентиляционном режиме достаточно трудоемко, но другого столь же энергосберегающего способа нет, как применение естественного холода, определенного из свода правил СП 131.13330.2012 СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

Идентификация опасности растепления горных пород, в том числе по проведению анализа опасностей отклонений технологических параметров вентиляционного режима от регламентных параметров, подтверждает опасность, а в некоторых случаях невозможность выполнения технологического процесса проходки и строительства горных выработок подземным способом.

В результате идентификации опасности растепление горных пород за счет неправильного теплового вентиляционного режима рудника признается опасным процессом, создаваемым искусственным и естественным природным образом.

Риск аварии возникает либо из-за природного нагрева вентиляционной струи на дневной поверхности, либо по причине обогрева шахтного воздуха в калориферных установках в зимнее время. Риск возрастает по мере продолжительности обогрева шахтного воздуха и при повышении уровня теплоты (температуры), передаваемой шахтной струе. Исключение подачи воздуха с положительной температурой и поддержание в выработках отрицательных температур оставит свойства горных пород сохранившимися, а значит, соответствующими расчетным параметрам возведения крепи. Риск аварии снизится при постоянстве и надежном подтверждении расчетных параметров горных пород без растепления.

Риск аварии из-за несоблюдения климатических условий работы персонала в шахте преодолевается системой мер локального характера: применением специальной одежды, специальных защитных масок, устройством кабин обогрева у рабочих мест и на местах ожидания транспорта, ограничением передвижения по выработкам рудника вне кабин автобусов, обеспечение теплым питьем и т. п.

Растепление горных пород грозит в основном потерей устойчивости крепи и разрушением горных выработок. Аварийности от снижения температуры воздуха на

отрицательные параметры избежать можно многократным усилением мер контроля за соблюдением персоналом соответствия своего снаряжения тем показателям вентиляционного режима, которые установлены на текущую смену. При чрезвычайно неблагоприятных климатических условиях на отдельных рабочих местах или по пути доставки людей именно здесь меры должны усиливаться для достижения безопасной работы и передвижения людей по шахте. В конечном итоге, если возникнут кратковременные ухудшения, – приостановка горных работ в данной локальной зоне на время повышения температуры до приемлемых параметров. Проветривание при этом остается в прежних параметрах и обеспечивает безопасность возобновления горных работ.

Сравнение значений выбранного показателя (температура воздуха в выработках не выше -1°C) для безопасной эксплуатации опасного производственного объекта – подземного рудника месторождения – с критерием обеспечения безопасной эксплуатации (нерастепление горных пород, слагающих массив вокруг выработок рудника) при отступлении от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности дает положительный результат.

При достижении постоянной температуры поступающего в рудник воздуха ниже -1°C растепление горного массива не наступит. Горные породы сохраняют свои первоначальные свойства устойчивости и будут поддерживаться в равновесном состоянии как за счет естественного состояния, так и с помощью крепи, рассчитанной для применения в данных условиях криолитозоны.

Мероприятия, компенсирующие отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, связанные с недопущением растепления горных пород в подземном руднике Аметистовое, сведены в перечень.

1. Создание барьера безопасности из накопителей холода (бутылей, на 2/3 заполненных водой), размещенных по периметру внутри портала с поступающей струей. Мониторинг состояния накопителей холода и замена оттаявших бутылей на замороженные.

2. Обеспечение персонала соответствующей защитой (спецодеждой, масками, кабинами, термосами, местами обогрева, средствами доставки).

Обоснованностью достаточности перечисленных мероприятий, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, является более чем столетний опыт открытых горных работ в схожих климатических условиях Севера.

Применение калориферных установок так же экономически невыгодно, ведь для нагрева воздуха используют энергию от сжигания топлива, которое в огромных количествах завозится в отдаленные районы ведения горных работ. В большинстве случаев дороги в таких районах отсутствуют, завозят топливо по зимникам. Впоследствии топливо сжигают в калориферных установках, нагрев воздух до положительных температур, который, в свою очередь, приводит к разрушению устойчивости выработок и впоследствии к аварийным ситуациям.

Список использованных источников

1. Мерзлотведение (краткий курс). Под ред. В. А. Кудрявцева. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981 г. 240 с.
2. Попов А. И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М., 1967
3. Попов А. И., Розенбаум Г. Э., Гумель Н. В. Криолитология. М., Изд-во МГУ, 1985.
4. Экстремальная экология (проблемы, пути решения) [Текст]: [монография]/ Я. Яндыганов, Е. Я. Власова, В. В. Минин, Н. И. Козлова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург, 2014. – 255 с.

13 Разработка методов определения расхода воздуха для рудников

ведущий инженер отдела вентиляции горных выработок Пьянков Дмитрий Александрович

Рассмотрены современные методы определения расхода воздуха для рудников. Представлены структура и основные подходы в построении методики организации проветривания. Приведены формулы для расчета необходимого количества воздуха в соответствии с нормативными требованиями. Перечислены рудники, на которых внедрены методики организации вентиляции и расчета количества воздуха, необходимого для проветривания. Все методики прошли согласование в Ростехнадзоре. В расчетах расхода воздуха учитывается экологический класс очистки выбросов техникой с двигателями внутреннего сгорания. В методиках также содержатся способы и средства активного управления воздушными потоками, такие как подземная передвижная вентиляционная установка (ППВУ) и забойная установка активного проветривания (ЗААП).

Ключевые слова: организация проветривания; расход воздуха; депрессия; азгазовый контроль; вентиляционная сеть.

Расчет требуемого количества воздуха для рудника является стратегически важной задачей еще на стадии проектирования. Необходимость разработки методики проветривания рудника является требованием ПБ 03-553-03 [1], п. 114. Методика разрабатывается с учетом всех действующих нормативных документов на момент ее создания. В методике определен порядок расчета по определению требуемого количества воздуха для каждого забоя и рудника в целом с последующим его рациональным распределением.

Для каждого конкретного месторождения разрабатывается индивидуальная методика организации проветривания и расчета количества воздуха для подземного рудника в зависимости от особенностей полезного ископаемого, глубины разработки, вскрывающих выработок, климата, рельефа местности, применяемой технологии, типа транспорта, способа разработки и др.

Принципы и структура построения методики:

1. Общие положения.
2. Технологические подходы к организации проветривания рудника.
3. Характеристика основных факторов вентиляции рудника.
4. Существующая система вентиляции рудника.
5. Порядок расчета количества воздуха и его контроль.

Расход воздуха, подаваемого в забой, м³/мин, вычисляется по формуле [2]:

$$Q_z = \frac{I_z k_n}{(C - C_0)}, \quad (1)$$

где I_z – газовыделение в выработке, ожидаемое из массива, или газовыделение при взрывании взрывчатых веществ (ВВ) либо от работы машин с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), м³/мин; k_n – коэффициент неравномерности газовыделений, принимается максимально возможный – 2,1 для учета постоянного выделения газа или учета максимальных нагрузок при работе машины с ДВС; C – предельно допустимая концентрация (ПДК) содержания ядовитых газов (паров); в ПБ 03-553-03 [1] ПДК установлена для содержания углекислого газа в рудничном воздухе, которое не должно превышать на рабочих местах 0,5 %, содержание ядовитых газов (паров) не должно быть больше предельно допустимой концентрации, указанной в таблице; при отсутствии данных по газам в таблице необходимо использовать *Гигиенические нормы ГН 2.2.5.2100-06, дополнение 2 к ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны*; C_0 – концентрация газа в воздухе на входящей струе; если забой проветривается обособленно, принимается равной 0, если

проветривается последовательно за другим забоем, но на расстоянии не менее 100 м, то принимается равной 0,5 С.

Необходимый расход воздуха в забое Q_z вычисляется для каждого выделившегося газа индивидуально, с последующим суммированием всех расходов воздуха по каждому из факторов (газовыделение из массива, от работы машин с ДВС).

Параллельно рассчитывают:

газовыделение в выработке, ожидаемое из массива,

$$I_z = \frac{S_z L_{от}}{\alpha_{газ}}, \quad (2)$$

где S_z – площадь забоя, м²; $L_{от}$ – отход забоя при разовом взрывании, м; $\alpha_{газ}$ – коэффициент, характеризующий газоотдачу массива, 1/мин, принимается величина максимального коэффициента неравномерности газовыделения, равная 2,1; газовыделение при взрывании ВВ

$$I_z = \frac{100 A_{ВВ} B_{ВВ}}{t_z}, \quad (3)$$

где $A_{ВВ}$ – масса ВВ, взрываемых одновременно, кг; $B_{ВВ}$ – газовость ВВ, 0,05 м³/кг; t_z – время проветривания забоя, мин; принимается равным 60 мин, если другое не установлено проектом, согласованным с Ростехнадзором; I_z – газовыделение от работы машин с ДВС

$$I_z = \frac{g_{ДВС} M_{ДВС}}{\alpha_{ДВС}}, \quad (4)$$

где $g_{ДВС}$ – суммарный выброс окиси углерода, углеводорода, окиси азота и выброс твердых частиц в граммах на 1 кВт мощности ДВС в мин, 0,2 грамм×кВт; $M_{ДВС}$ – номинальная мощность ДВС машины, работающей в забое, кВт; $\alpha_{ДВС}$ – коэффициент, учитывающий суммарный выброс ДВС, принимается по паспортным данным машины с ДВС в соответствии с техническим регламентом «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории РФ, вредных (загрязняющих) веществ», в соответствии с «Правилами применения технических устройств на опасных производственных объектах», для сертифицированных машин с ДВС стандартом первого экологического класса – 0,25, второго класса – 0,29, третьего класса – 0,35, четвертого класса – 0,41, пятого класса – 0,5. Машины с ДВС, проходящие по исходящей струе, не учитываются в расчете.

При расчете по формулам (2)–(4) выбирается наибольший результат и подставляется в формулу (1). Полученное по формуле (1) значение используют в дальнейших расчетах, оно же определяет минимальную производительность ЗУАП.

6. Организация работы машин с ДВС в призабойном пространстве.

7. Общая необходимость в воздухе для забоев рудника.

Произведение количества одновременно проводимых забоев n в шахте и расхода воздуха, подаваемого в один забой Q_z , определяет величину общей необходимости в воздухе позабойно для рудника. Проверка позволяет определить минимально допустимое количество воздуха, необходимого для проветривания рудника. В ситуации, когда подача воздуха в рудник ниже расчетного значения, работы в нем должны быть прекращены до принятия мер по увеличению подачи воздуха. Работы по восстановлению подачи расчетного количества воздуха проводятся в соответствии с «Руководством по вентиляции труднопроветриваемых зон» и должны быть согласованы с Ростехнадзором. Для подачи

воздуха в забой используются вентиляторы местного проветривания (ВМП) с трубопроводами. С целью соблюдения требования п. 142 ПБ 03-553-03 [1] о производительности ВМП, которая не может превышать 70 % от количества воздуха, подаваемого к его всасу за счет общешахтной депрессии, общую необходимость в воздухе, м³/мин, позабойно для рудника вычисляют по формуле:

$$\Sigma Q_z = \frac{Q_z n}{b}, \quad (5)$$

где n – число забоев, шт.; Q_z – необходимый расход воздуха по формуле (1), м³/мин; b – коэффициент неравномерности распределения воздуха за счет работы всех ВМП рудника, он постоянен, равен 1,0, если не отключены ВМП; при отключении одного, двух и более ВМП вместо 1,0 указывается число отключенных ВМП.

Полученный по формуле (5) результат используют в качестве проверочной величины, ниже которой подача воздуха в рудник недопустима.

8. Расход воздуха, подаваемого в действующие выработки.

Действующие выработки находятся на пути движения струи к забою или от него. Выполняется проверка расхода воздуха, проходящего по выработке, и отсутствия переноса пыли по скорости вентиляционной струи с целью обеспечения норм на подачу 6 м³ на одно лицо персонала по следующим формулам:

по *минимальной скорости* воздуха, для обеспечения воздухообмена при движении людей по выработкам

$$Q_D \geq 60Sv_{\min}, \quad (6)$$

где Q_D – необходимый расход воздуха в действующей выработке, м³/мин; S – площадь поперечного сечения выработки, м²; v_{\min} – минимально допустимая скорость воздуха в выработке, м/с, принимается согласно ПБ 03-553-03 [1] : $v_{\min} = 0,1P/S$; P – периметр сечения выработки, м;

по *максимальной скорости* воздуха, для предотвращения повышенной запыленности действующей выработки

$$Q_D \geq 60Sv_{\max}, \quad (7)$$

где v_{\max} – максимально допустимая скорость воздуха в действующей выработке, м/с; принимается согласно ПБ 03-553-03 [1].

В действующих выработках проверка расхода воздуха (6) и (7) происходит в сравнении с величиной, полученной по формуле (1) при вычислении по максимальному расчетному фактору для данной выработки. Снижение расхода воздуха не допускается, должны быть приняты меры по усилению струи воздуха в выработках, где обнаружен его недостаток. В соответствии с «Руководством по вентиляции трудно проветриваемых зон», согласованным с Ростехнадзором России, должны применяться подземные передвижные вентиляторные установки (ППВУ) или подземные вспомогательные вентиляторные установки (ПВВУ) [3]

Запасные выходы шахты должны организовываться так, чтобы в них проходил воздух из главных действующих выработок (выполнение требования ПБ 03-553-03 [1], п. 136). Расход воздуха, проходящего по главным выработкам в реверсивном режиме проветривания, должен составлять не менее 60 % от расхода воздуха, проходящего по ним в нормальном режиме.

9. Расход воздуха, подаваемого в выработки общешахтных камер служебного назначения,

$$Q_k = k_k V_k, \quad (8)$$

где Q_k – расход воздуха, необходимый для камеры служебного назначения (КСН), м³/мин; V_k – объем камеры служебного назначения за исключением объема, занятого оборудованием или материалами, м³; k_k – коэффициент, учитывающий кратность обмена воздуха в течение часа, принимается 0,07 в мин для складов взрывчатых материалов (ВМ), 0,033 в мин для прочих камер служебного назначения, включая камеры ремонта и отстоя машин с ДВС, водоотлива или дренажа и т. п.

Общий расход воздуха, требуемого для всех камер служебного назначения (КСН), ΣQ_k вычисляется суммированием расходов, полученных в результате вычислений по формуле (8) для всех КСН.

10. Расход воздуха, подаваемого в выработки горизонта,

$$Q_r = k_y \Sigma Q_z, \quad (9)$$

где k_y – коэффициент утечек в выработках горизонта, принят не более 1,05; ΣQ_z – необходимый расход воздуха, вычисленный позабойно по формуле (5) для данного горизонта, м³/мин. [2]

Общий расход воздуха, необходимый для всех рабочих и подготавливаемых горизонтов ΣQ_r , вычисляется суммированием расходов, полученных в результате решения формулы (9) для всех горизонтов.

11. Расход воздуха, подаваемого в выработки рудника,

$$Q_R = k_R (\Sigma Q_r + \Sigma Q_k), \quad (10)$$

где Q_R – требуемая подача воздуха в рудник (не менее), м³/мин; k_R – коэффициент утечек в выработках рудника, не более 1,15 [2]; ΣQ_r – суммарная подача воздуха на горизонты рудника, м³/мин; ΣQ_k – суммарная потребность в обособленном проветривании общешахтных камер служебного назначения, м³/мин.

12. Проверочный расчет необходимого количества воздуха по выхлопам машин с ДВС для рудника.

Расчет номинальной мощности ДВС выполняется по формуле:

$$N = m_{(n)} a, \quad (11)$$

где N – номинальная мощность машины с ДВС, работающей в выработке или на участке, согласно требованиям ПБ 06-111-95, приложение 2, л. с.; $m_{(n)}$ – паспортная мощность, указанная заводом-изготовителем, л. с.; a – коэффициент общего времени работы двигателя внутреннего сгорания в номинальном режиме, принимается из технической характеристики машины с ДВС и равен 0,7.

Проверочный расчет необходимого расхода воздуха для машины с ДВС всего рудника:

$$Q_z = q \times K_0 \times \Sigma N \quad (12)$$

где q – действующие нормы подачи воздуха на единицу мощности ДВС, для дизельных двигателей отечественного производства 5 м³/(л. с. · мин), а для машин, сертифицированных по экологическому классу газоочистки, с целью приведения норм к требованиям технического регламента «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории РФ, вредных (загрязняющих) веществ», q умножается на $a_{\text{ДВС}}$, принятую по формуле (4) настоящей методики; K_0 –

коэффициент одновременной работы, принимается равным 1,0; 0,9; 0,85 и 0,75 при одновременной работе в руднике одной, двух, трех и более машин соответственно; ΣN – суммарная номинальная мощность всех ДВС, работающих в выработках рудника, л. с.

Результаты расчета по формуле (12) сравниваются с фактическим поступлением воздуха в рудник по стволам. Если фактическое поступление воздуха меньше полученного по формуле (12), то должны быть применены меры по увеличению подачи главной вентиляторной установки (ГВУ) до требуемой производительности.

13. Расход воздуха, подаваемого в выработки рудника при отрицательной естественной тяге.

Температурные показатели выбираются по данным *СНиП 23-01-99. Строительная климатология. Климатические параметры холодного и теплового периода, определяются по таблицам СНиП 23-01-99 (СП 131.13330.2012)* для населенного пункта, наиболее приближенного к месту нахождения проектируемого рудника.

Ограничение подачи воздуха в рудник возможно при снижении расхода, обусловленного перепадом температур наружного воздуха атмосферы и допустимой температуры в выработках рудника $+2^{\circ}\text{C}$.

14. Производительность главной вентиляторной установки

$$Q_{ГВУ} = k_{ГВУ} Q_R, \quad (13)$$

где $k_{ГВУ}$ – коэффициент утечек поверхностного комплекса ГВУ, должен быть не более 1,2; Q_R – принимается максимальная величина, полученная по формулам (10) или (12), для зимнего времени года эта величина рассчитывается по (10), (12) или (13). Снижение фактической величины Q_R допускается по разрешению главного инженера рудника, при предоставлении расчета по данной методике, подписанного начальником ПВС шахты для выполнения внеплановых или аварийных работ, связанных с необходимостью уменьшения скорости воздушных потоков в горных выработках рудника или вентиляционных каналах. Если работают две вентиляторные установки последовательно, то производительность каждой должна быть не менее $Q_{ГВУ}$. Если имеет место параллельная работа двух и более вентиляторных установок, то $Q_{ГВУ}$ пропорционально делится на производительности, достигнутые вентиляторными установками по отдельности. Главным при этом является фактическая подача (не менее Q_R) в рудник, определенная как величина баланса расходов воздуха, проходящих по всем стволам.

15. Депрессия главной вентиляторной установки

$$H_{ГВУ} = R_{ГВУ} Q_{ГВУ}^2, \quad (14)$$

где $H_{ГВУ}$ – статическое давление, которое должен развивать вентилятор, работающий в ГВУ для преодоления аэродинамического сопротивления всей сети, Па; $R_{ГВУ}$, $(\text{H} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^8$, получается из расчета вентиляционной сети. Строится модель рудника на самый сложный период эксплуатации, когда количество выработок минимально и сеть имеет максимальное аэродинамическое сопротивление из расчета, выполненного с применением сертифицированного программного продукта vent2Cad. При выборе нового вентилятора величина его максимального давления должна быть на 10 % больше $H_{ГВУ}$. Для действующего рудника $R_{ГВУ}$ определяется из результатов плановой воздушно-депресссионной съемке (ВДС).

Если работают две вентиляторные установки главного проветривания последовательно, то депрессии складываются – $\Sigma H_{ГВУ}$. При параллельной работе вентиляторных установок фактическая депрессия каждой должна быть не менее рассчитанной по формуле (14).

16. Производительность вентилятора местного проветривания

$$Q_{\text{ВМП}} = k_{\text{труб}} 1,43 Q_z,$$

где Q_z – необходимый расход воздуха в забое (1), м³/мин; $k_{\text{труб}}$ – коэффициент утечек в трубопроводе, должен быть не более 1,3 (30 %); 1,43 – коэффициент, определяющий выполнение требований ПБ 03-553-03 [1] о производительности ВМП, которая не может превышать 70 % от количества воздуха, подаваемого к его всасу за счет общешахтной депрессии. Параметры ВМП должны корректироваться по данным заводов-производителей и ГОСТа 6625–85.

17. Депрессия вентилятора местного проветривания

$$H_{\text{ВМП}} = R_{\text{ВМП}} Q_{\text{ВМП}}^2, \quad (15)$$

где $H_{\text{ВМП}}$ – статическое давление, которое должен развивать ВМП, работающий на трубопровод, для преодоления аэродинамического сопротивления трубопровода $R_{\text{ВМП}}$, (Н · с²)/м⁸, указанного в техническом паспорте на вентиляционный став, или из расчета, выполненного с применением программного продукта vent2Cad.

При выборе ВМП величина его максимального давления должна быть на 10 % больше $H_{\text{ВМП}}$ по техническим характеристикам завода-изготовителя с трубопроводом проектной длины. Качество предлагаемых к применению ВМП трубопроводов должно подтверждаться их сертификатом, в котором декларируется, что при максимальной длине става и максимальной депрессии ВМП утечки не превышают 30 % от производительности ВМП для выполнения требования ПБ 03-553-03 о 70 %-ной подаче к всасу ВМП за счет общешахтной депрессии.

Подбор поперечного сечения трубопроводов выполняется по результатам расчета по формуле (15) и далее по специальной диаграмме, где определяется величина сечения трубопровода.

Скорость воздуха в трубопроводе определяется как расход ВМП (расчетный показатель производительности ВМП), разделенный на сечение трубопровода, выбранное для конкретного ВМП.

18. Проверочный расчет по наибольшему числу людей в одной выработке.

Норма расхода воздуха по этому фактору составляет 6 м³/мин, или 0,1 м³/с на 1 человека. Расход воздуха по количеству людей Q_n , производится по формуле:

$$Q_n \geq 6n, \quad (16)$$

где n – наибольшее число людей, одновременно находящихся выработке.

Запрещается допуск людей в выработки рудника, где расход воздуха меньше величины, определенной по формуле (16).

19. Обеспечение реверсирования струи воздуха, поступающего в подземные горные выработки.

20. Организация проветривания горных выработок.

21. Руководство по вентиляции трудно проветриваемых зон (ТПЗ) [2].

22. Признаки ТПЗ и методы их определения.

23. Система аэрогазового контроля.

24. Увеличение производительности и давления главной вентиляторной установки до максимальных паспортных величин [3].

25. Применение способов сокращения внешних утечек воздуха на вентиляционных стволах, на главных направлениях, в основных блоковых выработках.

26. Уменьшение поступления воздуха на участки вентиляционной сети, где имеет место превышение необходимого (расчетного) количества воздуха.

27. Реконструкция вентиляционной сети шахты [4].

28. Применение вспомогательных вентиляторных установок.
29. Определение необходимой депрессии рудника по направлению, включающему ТПЗ.
30. Методика расчета необходимой депрессии [2].
31. Использование расчетной депрессии вентиляционного пути воздуха, проходящего через ТПЗ для выбора вентиляторной установки.
32. Исполнение результатов расчетов.

В связи с изменением технологии ведения горных работ совершенствуется методика, изменяются параметры выхлопных систем транспорта с ДВС, типы применяемых ВВ и др. Данная методика успешно внедрена на рудниках «Айхал», «Интернациональный», «Мир», «Озерный», «Ново-Учалинский», «Вишнёвский», «Шерегеш» и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом ПБ 03-553-03. Екатеринбург, 2011, 104 с.
2. Мохирев Н. Н., Радько В. В. Инженерные расчеты вентиляции шахт: Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. Москва: Недра, 2007. 324 с.
3. Алыменко Н. И., Минин В. В. Вентиляторные установки и их применение. Екатеринбург, 1999. 204 с.
4. Яндыганов Я. Я., Власова Е. Я., Минин В. В., Козлова Н. И. Экстремальная экология (проблемы, пути решения). Екатеринбург, 2014. 255 с.

Люблю **книги**
ljubljudknigi.ru



yes
I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.ljubljudknigi.ru

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.get-morebooks.com

