

Рис. 3. Сравнение параметров регулирования ОВР и АВД

Как видно из графика, диапазон регулирования ОВР значительно более широк по сравнению с диапазоном регулирования АВД, что обусловлено существенно разными задачами оборудования. ОВР, в отличие от АВД, предназначен для работы на более низких депрессиях (до 500 Па) в условиях обеспечения малых расходов воздуха с приемлемой точностью управления. Поэтому ОВР имеет небольшие габаритные размеры и может быть размещен в горных выработках с площадью сечения не менее 5 м².

В настоящее время ведутся промышленные испытания регулятора на Краснослободском руднике 2 РУ ОАО «Беларуськалий».

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта
№ 0422-2019-0145-С-01.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Круглов Ю.В., Семин М.А. Совершенствование алгоритма оптимального управления проветриванием вентиляционных сетей сложной топологии // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – Т. 12, № 9. – С. 106-115.

УДК 622.45

DOI:10.7242/echo.2020.4.18

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКА «КАРАЛЬВЕЕМ»

А.А. Каменских

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы исследования вентиляционной сети золотоносного рудника «Каральвеем», расположенного в суровом климате Чукотского Автономного округа в

зоне вечномёрзлых горных пород, где естественная тяга может оказывать существенное влияние на проветривание рудника. Целью работы является повышение эффективности проветривания подземных горных выработок рудника. Основное внимание в работе автор акцентирует на сравнительном анализе поступающего и требуемого количества воздуха для проветривания как рабочих зон, так и рудника в целом. Построена математическая модель рудника, составлена принципиальная схема проветривания, а также определена рабочая точка главной вентиляторной установки, нанесенная на полученные во время проведенных исследований аэродинамические характеристики вентилятора. На основании анализа полученных результатов выявлено ненормативное проветривание рабочих зон, а также ниже требуемого количество воздуха, поступающее в рудник. В заключение для нормализации и улучшения проветривания подземных горных выработок рудника были разработаны мероприятия и рекомендации по повышению эффективности проветривания.

Ключевые слова: рудник, главная вентиляторная установка, Аэросеть, реверсивный режим, аэродинамическое сопротивление, рабочая точка, вентиляционная сеть, многолетнемёрзлые породы.

Каральвеевское золоторудное месторождение расположено в зоне многолетнемёрзлых пород на территории Чукотского автономного округа в 18 км к северо-западу от г. Билибино в среднегорной, резко расчлененной местности с крутыми (25-40%) обвально-осыпными склонами.

Рудные тела представлены кварцевыми жилами с вкрапленностью золота и сульфидов, также жильно-прожилковыми рудными телами (зонами) с незначительной примесью карбонатов и слюд.

Силлообразные тела габброидов ориентированы вдоль складчатости и имеют протяженность по простиранию 100-700 м при мощности от 5 до 300-500 м; залегание моноклиналиное с падением на юго-запад под углами 50-70°.

Дайковые образования раннемелового возраста развиты преимущественно на северо-западном и юго-восточном флангах рудного поля. Дайки имеют главным образом северо-западное и близ широтное простирание с крутым (50-80°) падением на север.

В пределах рудного поля выделено 5 рудоносных зон. Промышленное оруденение установлено в 3 зонах. Основная рудоносная зона в центральной части месторождения имеет протяженность в северо-западном направлении до 6 км при ширине 200-500 м. В этой зоне сосредоточены основные запасы руд месторождения (до 93%).

Высокое содержание свободной двуокиси кремния в рудах (около 70%) определяет силикозоопасность рудника. Проявлений газоносности руд и пород не отмечено. Радиоактивность пород низкая (3-10 мкР/час).

Зимой среднемесячная температура воздуха составляет -30°C, а минимальная может достигать -65°C. В результате амплитуда колебаний температуры в течение года может достигать 100°C.

В декабре-марте характерны полярные сияния, сопровождающиеся магнитными бурями. Во время полярных сияний затрудняется работа магнитных приборов и радиотехнических средств.

Шахтное поле рудника вскрыто двадцатью одной штольней, которые располагаются на флангах шахтного поля.

Подача свежего воздуха осуществляется по штольне 19. Выдача отработанного воздуха осуществляется штольням 6, 18, 25, «Капитальная» и через устье уклона ГРР-4 участка «Русловый».

Устье штольни 19 закреплено монолитной бетонной крепью и предназначено исключительно для подачи свежего воздуха от поверхностного комплекса главной вентиляторной установки. Абсолютная отметка устья штольни – +520 м. Протяженность участка выработки до основного воздухораспределения на гор.

480 м составляет 350 метров. Так же вентиляционный канал имеет сопряжение на гор. 520 м.

Очистные и проходческие работы ведутся буровзрывным способом. Доставка руды и породы осуществляется самоходным оборудованием с дизельным приводом через одну штольню, остальные штольни служат для вентиляционных целей.

Механизация проходческих и очистных работ осуществляется забойным и вспомогательным оборудованием с дизельным и электрическим приводом.

В настоящее время на руднике вскрыты запасы горизонтов от +190 м до +876 м.

Проветривание горных выработок осуществляется нагнетательным способом по фланговой схеме главной вентиляторной установкой, размещенной на устье штольни 19.

Свежий воздух в рудник поступает по штольне 19 далее через вентиляционный восстающий № 1 на штольню 6 гор. 480 м с последующим распределением воздуха на уклоны участков «Центральный» и «Русловый». По горным выработкам воздух движется на проветривание горно-капитальных, очистных, подготовительных и поддерживаемых выработок. После проветривания горно-капитальных, очистных, подготовительных и поддерживаемых выработок исходящая струя воздуха удаляется по вентиляционно-восстающим на вышележащие горизонты и движется по горным выработкам к штольням 6, 18, 25 и к устью уклона ГРР-4.

Проветривание тупиковых выработок, находящихся в проходке, производится непрерывно с помощью вентиляторов местного проветривания типа ВМЭ-5, ВМЭ-6, ВМЭ-8.

Принципиальная схема проветривания шахты приведена на рис. 1.

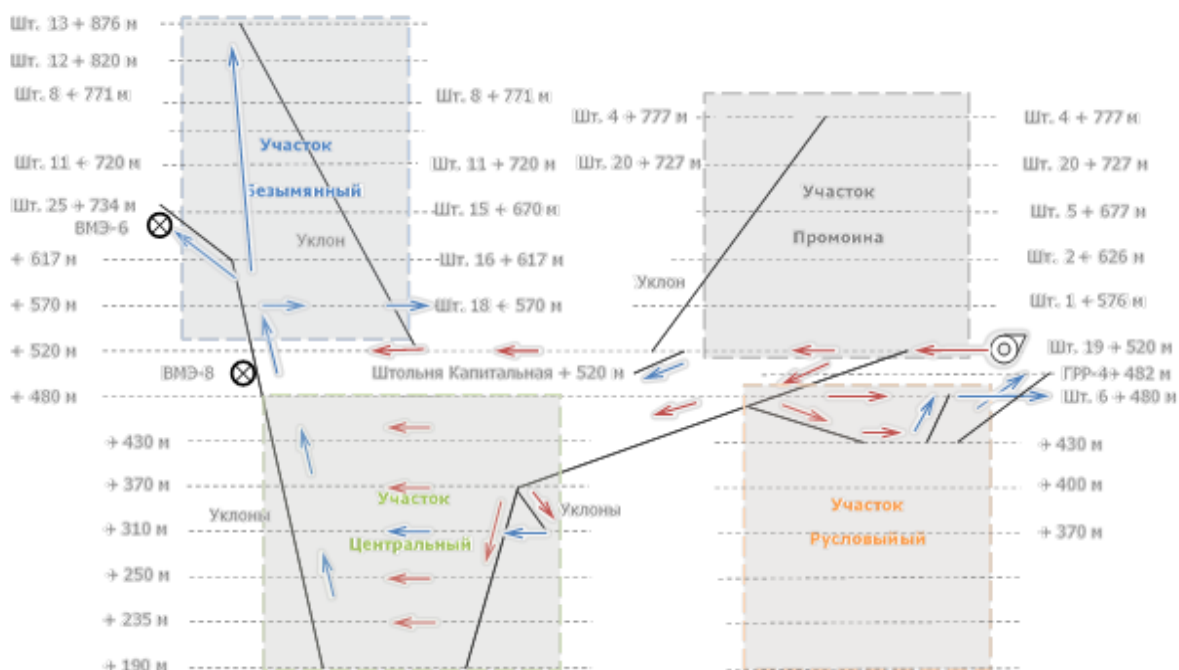


Рис. 1. Схема проветривания

Перепад высот между устьями вскрывающих выработок может достигать 396 м, поэтому в зависимости от метеорологических условий естественная тяга может оказывать влияние на проветривание рудника.

Рудник не оснащен автоматической системой мониторинга параметров вентиляции. Системы автоматического управления проветриванием на руднике не применяются. Подогрев воздуха в руднике не осуществляется.

Основой создания расчетной модели вентиляционной сети и вычисления аэродинамических сопротивлений ее отдельных элементов являются фактические расходы воздуха на различных участках шахты, приведенные значения замеров давлений в узлах вентиляционной сети.

На руднике были проведены исследования вентиляционной сети в рамках плановой воздушно-депресссионной съемки с целью определения состояния вентиляции рудника «Каральвеем», выявления ее недостатков и разработки рекомендаций по улучшению проветривания рудника [3].

В соответствии с вентиляционными планами горизонтов шахты в программе «Аэро-сеть» проведено построение расчетной модели вентиляционной сети на существующий период развития горных работ [2].

На основе экспериментальных данных было выполнено параметрическое обеспечение расчета требуемого количества воздуха и разработаны мероприятия и технические решения по повышению эффективности системы вентиляции.

В состав ГВУ входят два вентилятора главного проветривания ВОД-21, один агрегат находится в работе, второй в резерве.

При выполнении обследования главных вентиляторных установок были выполнены инструментальные замеры производительности и напора главных вентиляторных установок в вентиляционном канале и определена рабочая точка вентилятора, которая представлена на рисунке 2.

По результатам измерений вентиляторная установка главного проветривания работает на максимуме и производительность её составляет $95,6 \text{ м}^3/\text{с}$, утечки через устье штольни 19 составляют 3,6% от производительности вентиляторной установки. Эквивалентное отверстие составило $2,2 \text{ м}^3$, шахта является легко проветриваемой.

Расчетное количество воздуха для проветривания горных выработок рудника во время проведения воздушно-депресссионной съемки составило $305,7 \text{ м}^3/\text{с}$, и, как показали результаты исследования, вентиляторные установки рудника не обеспечивали поступление необходимого количества свежего воздуха в рудник с учетом влияния естественной тяги.

В ходе измерений количества поступающего воздуха в рудник были выявлены расхождения показаний замеров со стационарными датчиками контроля производительности ГВУ. Для обеспечения достоверного контроля поступающего воздуха в рудник при помощи установленных стационарных датчиков контроля в будущем необходимо провести дополнительные исследования по определению поля скоростей и выяснению мест установки датчиков с последующей корреляцией их показаний для обеспечения достоверности показаний [1].

По результатам проведенных исследований на руднике определено фактическое состояние вентиляции, фактические и требуемые параметры вентиляции, выявлены недостатки и разработаны рекомендации по улучшению проветривания рудника, определены параметры работы ГВУ на разных режимах работы, количество свежего воздуха, поступающего в рудник и распределение его по вентиляционной сети, величина и распределение депрессии в вентиляционной сети, аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети, а также выполнен расчет количества воздуха, необходимого для проветривания рудника при максимальном развитии горных работ на существующих и вновь вводимых в эксплуатацию участках.

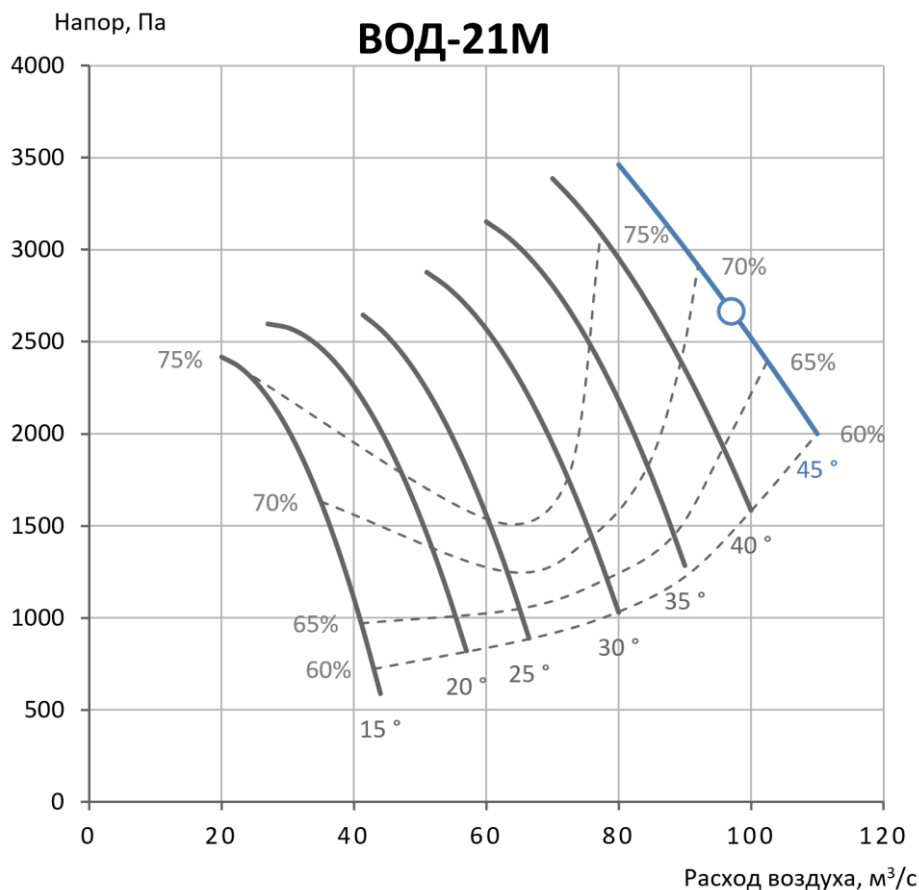


Рис. 2. Рабочая точка вентилятора ВВД-21

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что не все рабочие зоны обеспечены требуемым количеством воздуха. Основной дефицит воздуха испытывают участки «Центральный» и «Русловый» в связи с большим количеством внутренних утечек и высоким аэродинамическим сопротивлением вентиляционного восстающего и его сопряжениями с выработками гор. 480-520 м.

Таким образом, для рационального распределения рудничного воздуха между рабочими зонами рекомендованы следующие мероприятия и технические решения:

- необходимо увеличить сечение вентиляционного восстающего штольни 25 с $3,84 \text{ м}^2$ до 7 м^2 ;
- необходимо увеличить сечение вентиляционного восстающего гор. 480-520 с $7,5 \text{ м}^2$ до 15 м^2 ;
- для улучшения проветривания рабочих зон участка «Русловый» и «Центральный» рекомендуется установить в устье уклона ГРР-4 вентилятор ВМЭ-12А и изменить схему проветривания на проектную;
- установить дополнительные вентиляционные двери на участке «Русловый» и «Центральный»;
- установить и закрыть дополнительные вентиляционные двери на недействующих штольнях участков «Безымянный» и «Промоина»;
- уплотнить вентиляционные двери на штольне 19 на участке от ГВУ до штольни «Капитальная»;
- с целью снижения требуемого количества воздуха на проветривание рабочих зон рудника необходимо проведение замеров отработавших газов машин с ДВС и использование полученных данных для расчета количества воздуха согласно технологическому регламенту;

- установить на рабочие компьютеры специалистов участка вентиляции рудника программу «Аэросеть» для возможности выполнения расчетов, предусмотренных п. 26 «Инструкции по локализации...» [2], а также повышения эффективности разрабатываемых мероприятий специалистами участка вентиляции рудника на основе разработанной модели вентиляционной сети рудника.

Дальнейшее повышение эффективности системы вентиляции рудника целесообразно проводить по следующим направлениям:

- разработанную в ходе воздушно-депресссионной съемки модель вентиляционной сети рудника и программу «Аэросеть» рекомендуется использовать для построения системы мониторинга проветривания и повышения качества контроля воздухораспределения.

В ходе воздушно-депресссионной съемки определено, что в рудник поступает количество воздуха меньше требуемого, и не все рабочие зоны обеспечены требуемым количеством воздуха. Участки «Русловый» и «Центральный» испытывают нехватку свежего воздуха. В связи с этим необходимо провести расчет количества воздуха, используя в расчете замеры отработавших газов машин с ДВС в соответствии с действующим «технологическим регламентом...» рудника «Каральвеем».

Главная вентиляторная установка не имеет резерва по производительности (угол установки лопаток рабочего колеса 45°). Дальнейшее увеличение производительности возможно лишь при снижении сопротивления сети.

Выполнены измерения температуры воздуха. По результатам измерений выявлено, что температура воздуха в подготовительных, очистных и действующих выработках не превышает регламентируемых значений.

На основании полученных экспериментальных данных в программе «Аэросеть» разработана расчетная модель вентиляционной сети, с помощью которой проведен анализ проблемных мест в вопросе проветривания рудника и разработаны рекомендации по рациональному использованию поступающего воздуха и улучшению проветривания.

Произведен расчет устойчивости проветривания рабочих зон шахты. Согласно результатам расчетов, движение воздушных потоков является устойчивым на сети с предлагаемыми мероприятиями по улучшению проветривания.

Проведены расчеты влияния сезонных колебаний естественной тяги на проветривание шахты. По результатам расчетов сделан вывод о том, что колебания естественной тяги не оказывают значительного влияния на воздухораспределение в шахте и эффективность проветривания рабочих зон.

Выполнена воздушная съемка и моделирование реверсивного режима проветривания на разработанной модели вентиляционной сети. По результатам воздушной съемки и моделирования сделан вывод о том, что применяемый способ реверсирования оказывает сильное влияние на расход воздуха, поступающего по горным выработкам, при правильном положении вентиляционных сооружений, и требование п. 180 «Правил безопасности...» выполняется.

Рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности системы вентиляции на основе разработанной модели вентиляционной сети. На основании полученных результатов наибольшая энергоэффективность достигается путем сокращения внутренних утечек, увеличения сечения вентиляционных восстающих штольни 25 и гор. 480-520, а также изменения схемы проветривания участка «Русловый» на проектную.

Представленный анализ системы вентиляции на основе проведенных экспериментальных исследований позволяет принимать решения по организации проветривания шахты по мере развития горных работ, повышает количество воздуха, посту-

пающего в рудник, увеличивает эффективность проветривания и воздухоподготовки, что в совокупности способствует на практике росту уровня безопасности при ведении горных работ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы ФНИ,
проект № 0422-2019-0145-С-01 (регистрационный номер темы НИОКТР:
АААА-А18-118040690029-2).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.L. Numerical modeling of heat and mass transfer during hot and cool air mixing in air supply shaft in underground mine // Eurasian mining. – 2016. – № 2. – С. 45-47.
2. Аэросеть – Решение проблем рудничной вентиляции. [официальный сайт]. – Текст электронный. – URL: <http://aeroset.net>. – (дата обращения: 16.03.2020).
3. Проведение воздушно-депресссионной съемки вентиляционной сети рудника Каральвеем АО «Рудник Каральвеем»: отчет о НИР по договору №15/2020 от 13.03.2020 / ГИ УрО РАН; рук. А.Г. Исаевич. – Пермь, 2020. – 71 с.

УДК 004.85

DOI:10.7242/echo.2020.4.19

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.В. Кашников, Д.М. Бузмаков
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Данная работа описывает модель прогноза содержания метана в атмосфере рабочей зоны угольной шахты. При построении модели использованы оперативные показания датчиков и данные о текущей работе оборудования. В работе приводится сравнение результатов моделирования, полученных с использованием различных видов нейронных сетей. Прогнозирование изменения концентрации метана в рабочей зоне позволяет принимать оперативные решения для обеспечения эффективной работы оборудования при условии минимизации риска аварии.

Ключевые слова: искусственный интеллект, метан, угольная шахта, рекуррентная нейронная сеть, прогнозирование временных рядов.

Введение

В данной работе рассматриваются предприятия, осуществляющие добычу угля подземным способом. В этом случае проблема газовыделений при извлечении горной породы приобретает особое значение ввиду ограниченности подземного пространства, в котором работают люди. Самым опасным фактором при добыче угля является выделение метана [1]. В подземных выработках угольной шахты находятся датчики, которые следят за его процентным содержанием в воздухе. Своевременное прогнозирование этого параметра позволяет подобрать режим работы добычного оборудования таким образом, чтобы обеспечить эффективное производство при соблюдении требований безопасности.

Прогнозирование временных рядов довольно частая тема научных статей, многие авторы представляют свои исследования по данной тематике, однако на сегодняшний день успешные модели прогнозирования опираются на регрессионный анализ данных и на так называемый «метод секущих окон» [2]. Однако данные модели работают ста-