

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКА «ДАРАСУНСКИЙ»

А.А. Каменских

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы исследования вентиляционной сети золотоносного рудника «Дарасунский», расположенного в суровом климате Забайкальского края. Работа посвящена повышению безопасности и эффективности проветривания горных выработок рудника. В работе представлены два разработанных варианта схем проветривания рудника «Дарасунский». Основное внимание в работе автор акцентирует на сравнительном анализе разработанных математических моделей проветривания рудника в программном комплексе «Аэросеть», учитывающих изменение способа проветривания со всасывающего, через шурф «Юго-Западный», на нагнетательный, через ствол «Юго-Западный», с целью снижения аэродинамического сопротивления рудника и увеличения количества свежего воздуха, подаваемого в рудник для его проветривания. Приведен анализ поступающего и требуемого количества воздуха для проветривания как рабочих зон, так и рудника в целом для разработанных схем проветривания. В статье показано, что для отработки запасов участка «Юго-Западный» наиболее эффективное проветривание будет при всасывающем способе проветривания, а при перемещении работ в зону «Центральная» можно рассмотреть нагнетательный способ проветривания. В заключение приведены достоинства и недостатки разработанных схем проветривания для условий рудника «Дарасунский».

Ключевые слова: рудник, главная вентиляционная установка (ГВУ), «Аэросеть», реверсивный режим, аэродинамическое сопротивление, рабочая точка, вентиляционная сеть, многолетнемерзлые породы, математическая модель.

Введение

Дарасунское месторождение находится на территории Тунгокоченского района Забайкальского края, в пределах Нерчинско-Куэнгинского хребта Восточного Забайкалья, который является северным продолжением Даурского хребта, на водоразделе бассейнов рек Жарча и Торга. В физико-географическом отношении район месторождения относится к Ульдурга-Ингодинскому горно-таежному и подтаежному округу Среднезабайкальской горно-таежной провинции Байкало-Джугджурской горно-таежной области. Резко континентальный климат района характеризуется отрицательной среднегодовой температурой (от -3° до -7°C). Зима продолжительная, холодная, с малым количеством осадков. Средняя температура в январе -30°C , нередко -45°C и ниже. Лето короткое, умеренно жаркое. В июле средняя температура $+20^{\circ}\text{C}$, максимальная $+35^{\circ}\text{C}$, редко $+40^{\circ}\text{C}$.

На участках выходов подземных вод, на склонах южной экспозиции и к вершинам водоразделов многолетняя мерзлота уступает место таликам или отступает на большую глубину. Деятельный слой, образованный на многолетнемерзлых породах сезонным оттаиванием, а на участках таликов сезонным промерзанием, колеблется в пределах 0,75-3,5 м.

Рудник «Дарасунский» расположен в 84 км к северо-западу от железнодорожной станции Шилка Забайкальской железной дороги, с которой связан улучшенной грунтовой автомобильной дорогой г. Шилка – пос. Усугли, обеспечивающей круглогодичное движение автотранспорта.

В настоящее время годовая мощность рудника составляет 60 000 тонн. Основными добычными участками являются «Юго-Западный», «Центральный», «Восточный» (в настоящее время действующий участок только «Юго-Западный»).

Во время проведения натуральных исследований в руднике работы производились на следующих горизонтах: 407 м (проходческие работы, очистные работы), 457 м

(проходческие работы, очистные работы), 507 м (проветривание камеры ЦПП, проходческие работы, очистные работы), 617 м (проветривание насосной временного водоотлива).

На участке № 10 поддерживаются выработки горизонта 330 м (служат запасным выходом на горизонте 357 м участка «Юго-Западный»), выработки горизонта 480 м (служат запасным выходом на горизонте 507 м участка «Юго-Западный»), выработки горизонта 530 м (водоотливной комплекс горизонта 530 м с подходящими к ней выработками, штрек № 1 на ствол шахты «Слепая»). Проектное сечение основных горных выработок в руднике составляет 7,8 м².

В стволе участка «Центральный» ведутся ремонтно-восстановительные работы по креплению ствола с отметки 235 м до 585 м. Все остальные горные выработки участка «Юго-Западный», в которых не ведутся и не планируется проведение горных работ изолированы глухими вентиляционными перемычками.

Руда из забоя (блока), исходя из применяемой системы, через люковые, либо из блокового восстающего грузится в кузова вагонеток типа ВГ-2,2. Далее электровозными составами, состоящими из электровоза (типы 7КРМ1, 7КР, 4КР) и 8 вагонеток (типа ВГ-2,2), горная масса транспортируется по откаточным выработкам к околоствольному двору ствола «Юго-Западный». Из околоствольного двора горная масса в вагонетках загружается в клеть и выдается на поверхность.

Параметры вскрывающих выработок приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вскрывающие выработки

Название	Сечение	Высотная отметка		Оборудование
		Верхняя	Нижняя	
Ствол «Юго-Западный»	15,4 м ²	941,3 м	124,0 м	Клеть, Лестница
Ствол шах. №14	–	989,0 м	631,1 м	Выведен из эксплуатации
Ствол шах. Центральная	Ремонт	957,9 м	372,2 м	Находиться на стадии восстановления
Ствол шах. №10	12 м ²	898,8 м	368,6 м	Клеть, Лестница Запасной механизированный выход
Ствол шах. Восточная	–	866,8 м	215,2 м	Выведен из эксплуатации
Вентиляционный шурф «Юго-Западный» (В-2)	4 м ²	866,8 м	215,2 м	Лестница

В период развития горных работ планируется прохождение уклона между горизонтами 617 м и 667 м с использованием техники с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Будут использоваться два комплекса, состоящие из погрузочно-доставочных машин (ПДМ) и самосвала, каждая машина мощностью 78 л.с. Первый комплекс будет работать на горизонте 617 м, второй на горизонте 667 м. Они будут осуществлять прохождение уклона на встречу друг другу. Машины с ДВС планируется использовать с экологическим стандартом TIRE IVi.

В рамках научно-исследовательской работы на руднике «Дарасунский» была проведена воздушно-депресссионная съемка с целью определения состояния вентиляции рудника, выявления ее недостатков и разработки рекомендаций по

улучшению проветривания рудника [3]. В связи с продолжающимися ремонтными работами в стволе «Центральный» схема проветривания, предусмотренная проектом, была изменена. Проветривание рудника осуществляется всасывающим способом по фланговой схеме следующим образом: главная вентиляционная установка (ГВУ) с двумя вентиляторами ВВД-21 (один в резерве) расположена на шурфе «Юго-Западный» пройденным с поверхности до горизонта 717 м. Главный вентилятор работает на всасывание. По данной схеме свежий воздух поступает (рисунок 1):

- по стволу участка «Юго-Западный» на все действующие горизонты: 357 м, 407 м, 457 м, 507 м, 617 м, 667 м, 717 м;
- по стволу участка № 10 свежий воздух за счет общерудничной депрессии поступает на горизонты 330 м и 480 м и далее следует на горизонты 357 м и 507 м Юго-Западного участка. Также ствол шх. № 10 является вторым механизированным выходом на поверхность через горизонт 32 м.

В очистные забои Юго-Западного участка свежая струя воздуха поступает через вентиляционные трубопроводы, в которые свежий воздух нагнетается вентиляторами местного проветривания (ВМП), в свою очередь для исключения рециркуляции воздуха ВМП предполагается устанавливаться в перемычке. Проветривание блоков осуществляется снизу вверх за счет общешахтной депрессии. Вышележащий горизонт является вентиляционным. При ведении горных работ на нескольких горизонтах предусматривается ведение горных работ с опережением отработки запасов на нижележащих горизонтах с целью исключения подсосов загрязненного воздуха.

Исходящий воздух выдается через вентиляционный шурф «Юго-Западный».

Проветривание подсечных горизонтов осуществляется с подачей свежего воздуха по заездам и восстающим с нижележащих откаточных горизонтов. Все поддерживаемые горные выработки проветриваются за счет общешахтной депрессии. Проветривание тупиковых выработок, находящихся в проходке, производится непрерывно с помощью вентиляторов местного проветривания типа ВМЭ-6, ВМЭ-8.

В результате было определено, что единственной воздуховыдающей выработкой является вентиляционный шурф «Юго-Западный», и ввиду его малого сечения, которое составляет в проекте 4 м^2 (таблица 1), и в добавление к этому оборудован лестничными пролетами, является участком с высоким аэродинамическим сопротивлением, что снижает эффективность проветривания, и как следствие, у рудника эквивалентное сечение составляет менее 2 м^2 .

С целью выяснения возможности повышения эффективности проветривания было проведено данное исследование. Идея заключалась в увеличении эквивалентного сечения рудника за счет изменения схемы проветривания. В рамках изучения этого вопроса были разработаны две модели проветривания: модель со всасывающим способом проветривания и модель, учитывающая нагнетательный способ проветривания через ствол «Юго-Западный», сечение которого больше шурфа «Юго-Западный» и составляет $15,4 \text{ м}^2$ (рисунок 2).

Методы исследования

В данном исследовании учитываются следующие рабочие зоны:

- на горизонте 407 м расположена жила Лебедевская-2. Эта рабочая зона достаточно сильно удалена от ствола «Юго-Западный» (расстояние от возможной точки забора воздуха до рабочей зоны составляет 1650 м), и при этом основную воздухоподающую выработку пересекают восстающие, по которым проходит отработанных воздух с нижележащих горизонтов на горизонт 357 м, и следовательно, для доставки свежего воздуха требуется вентиляционный трубопровод;

- жила Восточная расположена на горизонте 457 м. Эта рабочая зона достаточно сильно удалена от ствола «Юго-Западный» (расстояние от возможной точки забора воздуха до рабочей зоны составляет 800 м), и при этом основную воздухоподающую выработку пересекают восстающие, по которым проходит отработанный воздух с нижележащих горизонтов на горизонт 357 м, поэтому для доставки свежего воздуха требуется вентиляционный трубопровод. Учитывая длину 800 метров, доставлять свежий воздух необходимо по жесткому вентиляционному трубопроводу. Это позволяет снизить его аэродинамическое сопротивление;
- жила Восточная-3 расположена на горизонте 507 м. На этом горизонте располагаются две рабочие зоны. Длина вентиляционного трубопровода для каждой зоны не превышает 200 м;
- рабочая зона, где предполагается работа техники с ДВС расположена на горизонте 617 м. В работе планируется совместная работа самосвала и ПДМ. Аналогичная рабочая зона расположена на горизонте 667 м. Также в этой рабочей зоне планируется работа ПДМ и самосвала. В рабочих зонах горизонтов 617 м и 667 м одновременно будут вестись работы по прохождению уклона между горизонтами во встречном направлении. Длина уклона составит 150 м. Проблема заключается в том, что отработанный воздух из тупиковых рабочих зон будет сбрасываться на воздухоподающую выработку. Длина от возможной точки забора свежего воздуха до груди забоя составит около 365 м.

Для рабочих зон жилы Лебедевская-2, Восточная и Восточная-3 основным фактором является выделение ядовитых продуктов при ведении взрывных работ (ВР), требуемое количество воздуха для разбавления которых приведено в таблице 2. Для рабочих зон, где работает техника с ДВС, основным фактором является выделение ядовитых продуктов, при работе машин с ДВС и требуемое количество воздуха также приведено в таблице 2. Исследования, связанные с локальной рециркуляцией при работе ВМП, представлены в предыдущей работе [1].

Таблица 2

Сводная таблица расчета требуемого количества воздуха для действующих горных выработок с учетом коэффициентов утечек и запаса

Рабочая зона	Длина вент. рукава, м	Q_3	k_y	$Q_{ВМП}$	$Q_{выр}^r$
Жила Лебедевская -2 гор. 407м (ВР)	1650	1,1	1,8	перемычка	4,0 м ³ /с
Жила восточная гор. 457м (ВР)	790	1,1	1,49	перемычка	4,2 м ³ /с
Жила восточная гор. 507м штр. 19 (ВР)	120	1,1	1,09	1,43	3,6 м ³ /с
Жила восточная гор. 507м штр. 20 (ВР)	190	1,1	1,14	1,43	3,4 м ³ /с
Уклон гор. 617м (ДВС)	365	7,02	1,23	перемычка	9,8 м ³ /с
Уклон гор. 667м (ДВС)	310	7,02	1,20	перемычка	10,2 м ³ /с

Общее расчетное количество воздуха, требуемое для проветривания рудника, составляет 54,2 м³/с.

В программном комплексе «Аэросеть» были разработаны две модели вентиляционной сети с нагнетательным и всасывающим способами проветривания [2].

В обоих вариантах вентиляторы ВОД-21 главной вентиляционной установки расположены на шурфе «Юго-Западный». Первая схема вентиляционной модели рудника учитывает всасывающий способ проветривания (рисунок 1).

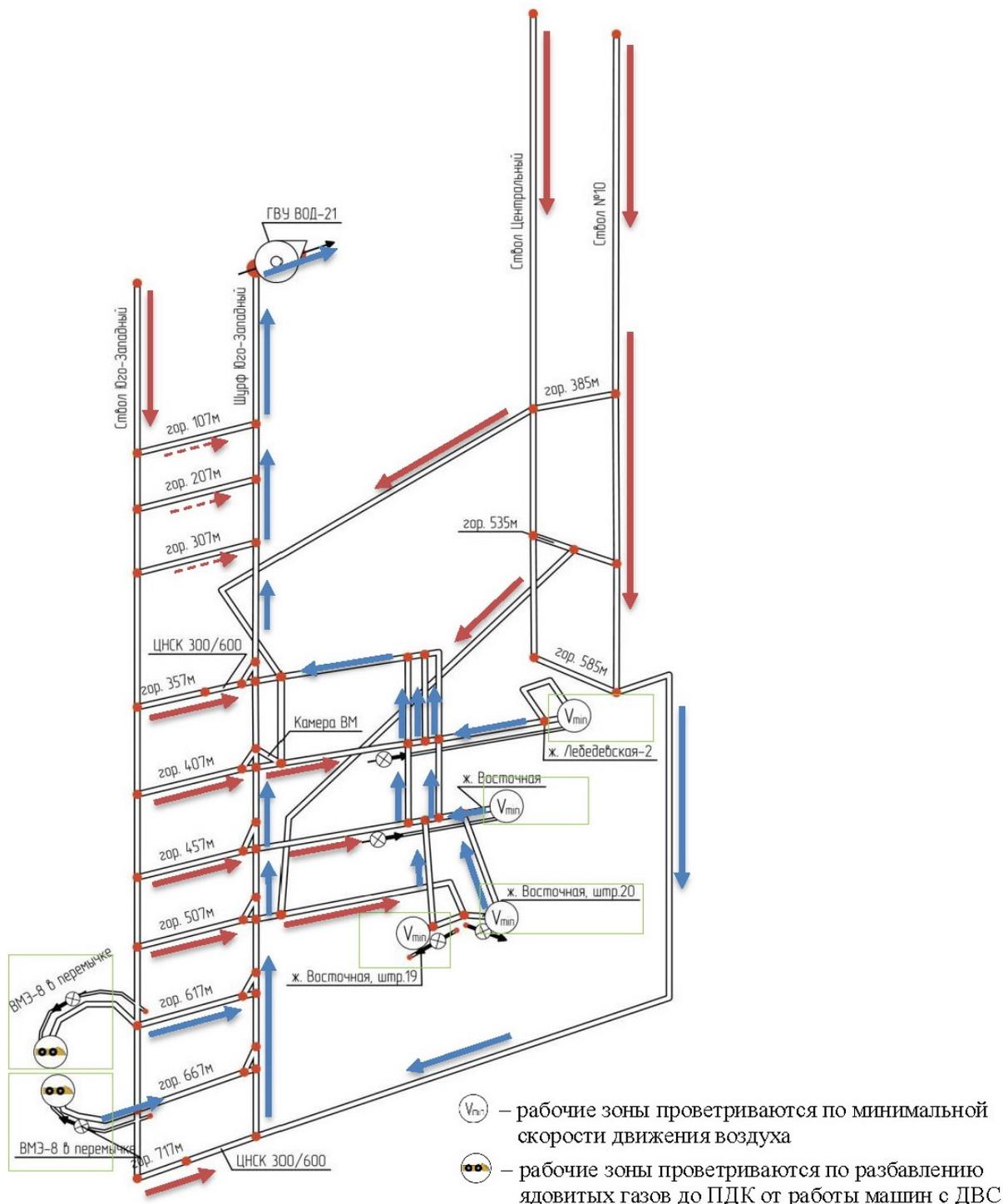


Рис. 1. Всасывающий способ проветривания

Главная вентиляционная установка (ГВУ) с двумя вентиляторами ВОД-21 (один в резерве) расположена на шурфе «Юго-Западный», пройденным с поверхности до гори-

зонта 717. Главный вентилятор работает на всасывание. Использование данной схемы обусловлено выведенным из эксплуатации стволом «Центральный». По данной схеме свежий воздух поступает:

- по стволу «Юго-Западный» на все действующие горизонты: 357 м, 407 м, 457 м, 507 м, 617 м, 667 м, 717 м;
- по стволу уч. № 10 свежий воздух за счет общерудничной депрессии поступает на горизонт 330 м и 480 м и далее следует на горизонт 357 м и 507 м Юго-Западного участка. Также ствол шах. № 10 является вторым механизированным выходом на поверхность через горизонт 32 м;
- по стволу уч. № 10 свежий воздух за счет общерудничной депрессии поступает на горизонт 530 м и далее через ствол шахты «Слепая» следует на горизонт 717 м Юго-Западного участка и сбрасывается в шурф «Юго-Западный».

В очистные забои Юго-Западного участка свежая струя воздуха поступает через квершлаг и откаточные штреки. Проветривание блоков осуществляется снизу вверх за счет общешахтной депрессии. Вышележащий горизонт является вентиляционным. При ведении горных работ на нескольких горизонтах предусматривается ведение горных работ с опережением отработки запасов на нижележащих горизонтах с целью исключения подсосов загрязненного воздуха. Исходящий воздух выдается через вентиляционный шурф «Юго-Западный».

Во втором варианте вентиляционной модели рудника проветривание осуществляется нагнетательным способом. Нагнетание свежего воздуха во второй схеме происходит через ствол «Юго-Западный», к которому воздух подводится по вентиляционному каналу, проложенному по поверхности от здания ГВУ до ствола «Юго-Западный» (рисунки 2).

Данная схема проветривания разработана с целью возможного снижения аэродинамического сопротивления воздуховыдающих выработок и, следовательно, повышению производительности ГВУ.

Главная вентиляционная установка (ГВУ) с двумя вентиляторами ВВД-21 (один в резерве) расположена на шурфе «Юго-Западный» пройденным с поверхности до горизонта 717 м. Особенностью данной схемы является то, что ГВУ нагнетает воздух через вентиляционный канал, который может быть смонтирован по поверхности от ГВУ, расположенной на шурфе «Юго-Западный», до здания калориферной, расположенного на стволе «Юго-Западный». Сечение вентиляционного канала составляет 12 м^2 , а длина 200 м. По данной схеме свежий воздух поступает:

- по стволу «Юго-Западный» на все действующие горизонты: 357 м, 407 м, 457 м, 507 м, 617 м, 667 м, 717 м;
- за счет общерудничной депрессии воздух удаляется в атмосферу по стволу № 10 с горизонтов 330 м и 480 м Центрального участка и часть воздуха удаляется в атмосферу по шурфу «Юго-Западный» с горизонта 357 м;
- проветрив гор. 717 м, воздух за счет общерудничной депрессии поступает на горизонт 530 м через ствол шахты «Слепая» и далее через ствол уч. № 10 сбрасывается в атмосферу.

В этой схеме проветривания исходящий воздух выдается через вентиляционный шурф «Юго-Западный», а также через ствол № 10.

Разработанные модели рудника, приведенные выше, были верифицированы по результатам проведенных исследований в руднике «Дарасунский» в рамках плановой воздушно-депресссионной съемки (ноябрь 2020 года) [3]. Требуемая производительность ГВУ для проветривания рудника в обоих вариантах одинаковая и составила $54,2 \text{ м}^3/\text{с}$. В разрабатываемых математических моделях изменяется только местоположение регулирующих устройств, а расположение рабочих зон и их про-

ветривание не изменяется (длина вентиляционного рукава, количество ВМП в рабочей зоне). Расчетное количество воздуха, необходимое для проветривания рудника для разрабатываемых вариантов получается одинаковое, так как исходные данные для расчетов не меняются.

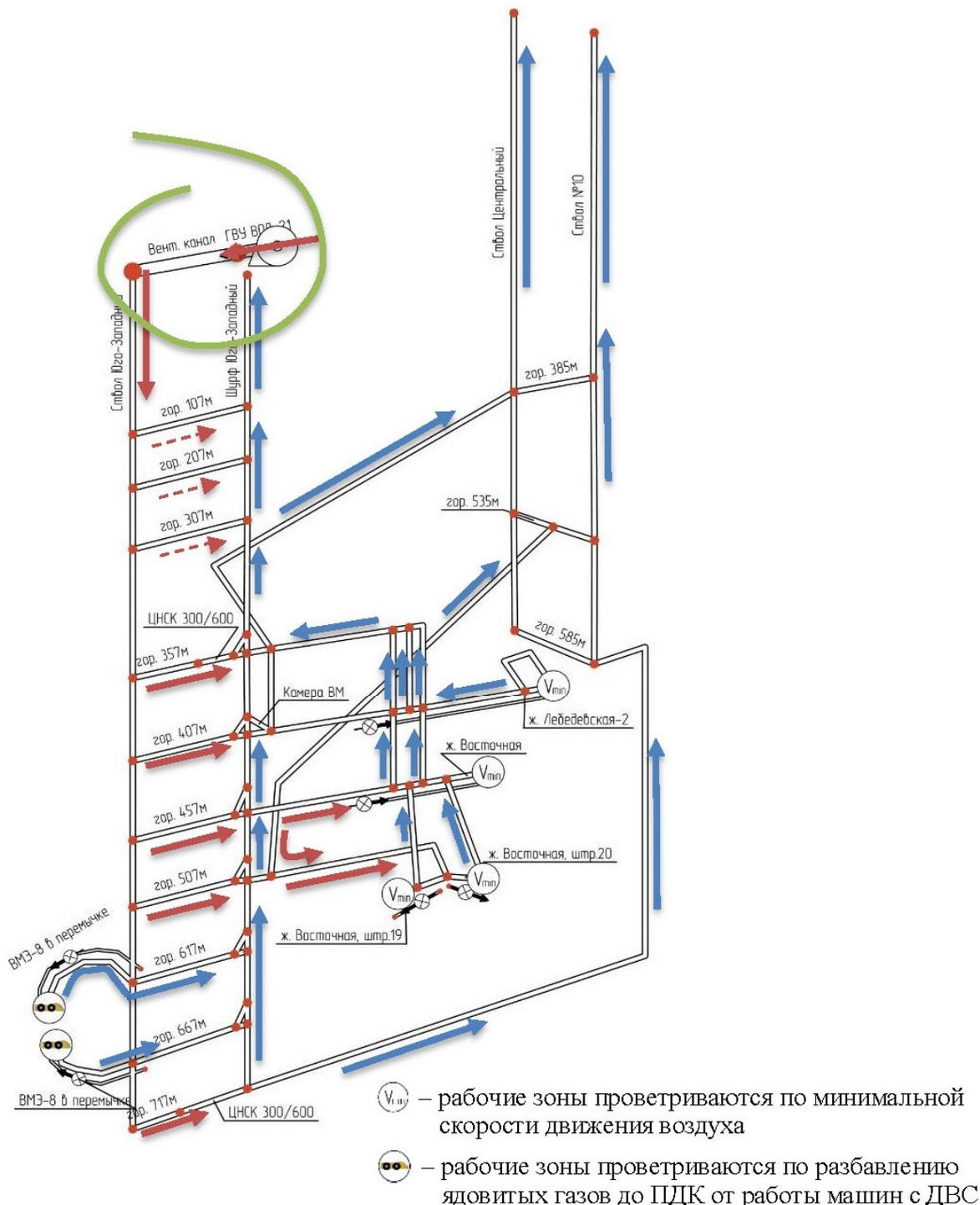


Рис. 2. Нагнетательный способ проветривания

Модельное количество воздуха, поступающее в рудник для всасывающего способа проветривания, составляет 57,6 м³/с, для нагнетательного через ствол «Юго-Западный» – 56,7 м³/с. В таблице 3 представлены параметры работы ГВУ.

Таблица 3

Параметры работы главной вентиляторной установки

Параметр	Вариант №1 (Всасывающий способ)	Вариант №2 (Нагнетательный способ)
Вентилятор	ВОД-21	ВОД-21
Угол наклона лопаток	30°	30°
Частота вращения рабочего колеса	750 об/мин	750 об/мин
Производительность	63,1 м ³ /с	62,4 м ³ /с
Напор	2407 Па	2447 Па
Коэффициент полезного действия	79 %	79 %
Потребляемая мощность на валу	192,4 кВт	193,5 кВт
Эквивалентное отверстие, м ²	1,63 м ²	1,50 м ²

В результате проведенного сравнительного анализа разработанных математических моделей схем проветривания рудника эквивалентное отверстие в первом варианте составило 1,63 м², во втором – 1,50 м² (таблица 3). Количество электроэнергии, затрачиваемое на работу ГВУ в первом варианте, составило 192,4 кВт, во втором – 193,5 кВт. При этом все рабочие зоны в разработанных вариантах проветривания обеспечены требуемым количеством воздуха.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что в варианте со всасывающим способом проветривания эквивалентное отверстие больше, чем в варианте при нагнетании свежего воздуха через вентиляционный канал, смонтированный по поверхности от ГВУ до ствола «Юго-Западный». Это обусловлено спецификой доставки воздуха в рабочие зоны рудника при помощи ВМП, установленных через перемычки, удаленностью ствола № 10, через который предполагается сбрасывать отработанный воздух в атмосферу, а также малым сечением горных выработок рудника. Учитывая данные особенности, а также необходимость дополнительных строительных затрат для реализации второго варианта проветривания, наиболее эффективным при отработке запасов «Юго-Западного» участка остается всасывающий способ проветривания, а при перемещении горных работ в «Центральную» зону возможно применение нагнетательного способа проветривания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петров А.И., Алыменко Н.И., Каменских А.А., Николаев А.В. Локальная рециркуляция при работе вентилятора местного проветривания // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2016. – № 1. – С. 202-208.

2. Аэросеть – Решение проблем рудничной вентиляции. [официальный сайт]. – Текст электронный. – URL: <http://aeroset.net>. – (дата обращения: 10.10.2021)
3. Проведение воздушно-депресссионной съемки и оценка фактического воздухораспределения в пределах действующей вентиляционной сети рудника «Объединенный» ООО «Дарасунский рудник»: Отчет о НИР по договору №141/2020 от 20 октября 2020 года.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2021.4.22

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ РАБОТЕ ТЕХНИКИ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е.В. Накаряков

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе представлены результаты натуральных исследований рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания. Разработана методика проведения натуральных измерений концентраций вредных компонентов выхлопных газов техники с двигателями внутреннего сгорания двумя методами: отбор проб из выхлопной трубы и экспресс-метод с использованием портативных газоанализаторов. Показано, что количество диоксида азота при экспресс-методе измерения концентраций выше, чем при измерении способом отбора проб, что предположительно связано с доокислением оксида азота до диоксида азота по пути движения облака выхлопных газов от трубы до места замера. Показано непропорциональное поведение графиков изменения концентраций оксида азота и диоксида азота на расстоянии от выхлопа машин.

Ключевые слова: рудничная вентиляция, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, ядовитые газы, отбор проб, расход воздуха, расчет количества воздуха.

Введение

Ранее действовавшие нормативные документы в области промышленной безопасности опасных производственных объектов устанавливали норму подачи свежего воздуха в рабочие зоны машин с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В настоящее время указанные нормы не действуют, правилами безопасности предписывается обеспечение в рабочих зонах машин с ДВС требуемого состава воздуха в части предельно допустимых концентраций отдельных продуктов отработанных выхлопных газов. Однако в силу искусственного характера вентиляции подземных рудников и невозможности его оперативного управления необходимо заранее рассчитывать требуемое количество воздуха для проветривания рабочих зон. Утвержденные методики расчета воздуха для рабочих зон машин с ДВС, как и нормы подачи воздуха в нормативной документации отсутствуют.

Согласно пунктам 375, 380, 381 Федеральных Норм и Правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [1] контроль за компонентным составом выхлопных газов техники с ДВС и компонентным составом рудничной атмосферы рабочих зон при работе техники с ДВС осуществляется по содержанию оксида углерода и оксида азота. Таким образом, при эксплуатации на подземных горных работах техники с ДВС основными контролируемыми вредными компонентами выхлопных газов, согласно ФНиП [1], являются оксид углерода и оксиды азота, которые приняты в качестве основных исследуемых газов в настоящей работе.

Исследованиями состава рудничной атмосферы при работе техники с ДВС занимались многие исследователи, в том числе имеются диссертационные работы [2, 3]. Проведены собственные исследования, касающиеся работы техники с ДВС в тупиковых