

На правах рукописи



НИКОЛАЕВ Александр Викторович

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА
НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ СРЕДСТВАМИ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Специальность 05.26.03 –
«Пожарная и промышленная безопасность»
(горная промышленность)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Кемерово 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный консультант:	Клишин Владимир Иванович , член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН
Официальные оппоненты:	Фрянов Николаевич , доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехнологии Института горного дела и геосистем ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» Ордин Александр Александрович , доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории подземной разработки угольных месторождений ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН» Сечин Александр Иванович , доктор технических наук, профессор, профессор отделения общетехнических дисциплин школы базовой инженерной подготовки ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2020 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 520.063.03 при АО «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» по адресу: 650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АО «НЦ ВостНИИ» <http://www.nc-vostnii.ru/napravleniya-deyatelnosti/nauchno-obrazovatel'naya-deyatelnost/soiskateli.php>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 650002, Россия, г. Кемерово, ул. Институтская, 3.
Телефон: (3842) 64-26-51; e-mail: dissovets@nc-vostnii.ru

Ученый секретарь диссертационного совета



Ботвенко Д.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Увеличение производительности подземных горных предприятий (ПГП) по добытой горной массе в сочетании с действующими принципами обеспечения промышленной безопасности и защиты жизни и здоровья горнорабочих средствами вентиляции ведет к необходимости дальнейшего повышения количества подаваемого в шахту свежего воздуха, тем самым – к росту энергопотребления.

Уже сегодня на проветривание расходуется от 30 до 50 % всей потребляемой ПГП электроэнергии, а главные вентиляторные установки (ГВУ) работают на пределе своей мощности и производительности.

Процесс проветривания подземных горных выработок требует больших затрат энергоресурсов как на цели вентиляции, так и на выполнение требований правил безопасности, согласно которым предписано в холодное время года нагревать, а в теплое время – охлаждать подаваемый воздух. Ввиду того что применяемые для осуществления нагрева и охлаждения воздуха способы и установки имеют низкий КПД и разрабатывались без учета энерго- и ресурсосбережения, необходимо последовательно добиваться от них выполнения принципов бережливого производства (бережливой вентиляции).

Решение всех вышеперечисленных проблем связано с информатизацией, автоматизацией и цифровизацией процессов подготовки воздуха и его оптимального распределения между рабочими зонами.

Исследованию проблемы обеспечения условий безопасности при проветривании и воздухоподготовке на ПГП посвящены работы С.П. Алехичева, Н.И. Алыменко, А.Д. Вассермана, А.Ф. Воропаева, С.Г. Гендлера, Ю.Д. Дядькина, Б.П. Казакова, Н.О. Калединой, Н.М. Качурина, Ш.Х. Килькеева, В.И. Клишина, В.Б. Комарова, А.Е. Красноштейна, О.А. Кремнева, Ю.В. Круглова, Л.Ю. Левина, И.И. Медведева, Н.Н. Мохирева, Ордина А.А., Д.Ю. Палеева, Н.А. Трофимова, К.З. Ушакова, Г.З. Файнбурга, А.Н. Щербаня, Z. Aitao, W.E. Bruce, P.F. Linden и др.

В решение проблемы повышения эффективности проветривания угольных шахт большой вклад внесли: Ф.А. Абрамов, А.И. Бобров, В.Н. Воронов, СП. Казаков, А.Д. Кизряков, Ф.А. Кожанов, В.А. Колмаков, А.И. Ксенофонтов, Г.Д. Лидин, А.А. Мясников, А.А. Скочинский, К.Н. Трубецкой, Д.М. Шереедин, G.Y. Cheng, P. Lagadec, Li. Maoren, J. Wachowicz.

В последующем проблемы метановой опасности и безопасности труда в угольных шахтах получили развитие в работах А.Т. Айруни, Н.К. Бусыгина, В.С. Зыкова, В.Г. Игишева, С.И. Калинина, Е.Ф. Карпова, Ф.С. Клебанова, А.А. Ли, В.И. Мурашева, А.Ф. Павлова, В.Б. Попова, С.А. Прокопенко, В.Н. Пузырева, А.И. Сечина, Б.Г. Тарасова, А.И. Фо-

мина, В.Н. Фрянова, С.В. Черданцева, Л.А. Шевченко, М. Branny, X.X. Kuang, G.E. McElroy, P. Zapletal и многих других.

Объект исследований – процессы обеспечения требований промышленной безопасности на подземных предприятиях горнорудной отрасли.

Предметом исследования являются процесс проветривания подземных предприятий горнорудной отрасли при возникновении техногенных опасностей.

Идея диссертационной работы заключается в комплексном учете особенностей работы систем воздухоподготовки, влияющих на безопасность применения энергоэффективных систем воздухоподготовки, способов устойчивого проветривания выемочных участков в условиях переменной естественной тяги, регулирования воздухораспределения между подземными горными выработками при помощи положительных и отрицательных средств проветривания, а также процесса управления режимами работы ГВУ при изменяющихся внешних возмущающих факторах.

Цель работы – научное обоснование и разработка технических и технологических решений, обеспечивающих промышленную безопасность в нормальном и аварийном режимах проветривания, а также по нормализации рудничной атмосферы в рабочих зонах и обеспечение безопасных и комфортных условий труда горнорабочих путем энергоэффективного проветривания.

Задачи исследования

В соответствии с целью при выполнении работы решались следующие задачи:

1. Разработать методологию управления режимом работы ГВУ, в том числе при осуществлении воздухоподготовки, с учетом действия общерудничной естественной тяги (ОЕТ) и инерционности системы проветривания, а также прогнозирования воздухораспределения между шахтными стволами, позволяющие поддерживать подачу воздуха в ППП в требуемом для обеспечения безопасности ведения работ объеме.
2. Установить причины возникновения «воздушных пробок» в воздухоподающих стволах на основании анализа наиболее значимых факторов, влияющих на температурную стратификацию при осуществлении воздухоподготовки в холодное время года.
3. Разработать новые технические и технологические решения по осуществлению воздухоподготовки в холодное время года в режиме, обеспечивающем безопасность при оптимизации затрат энергоресурсов.

4. Разработать технологические решения по эффективному воздухо-распределению между рабочими зонами ППП, в том числе калийных рудников, для обеспечения безопасных и комфортных условий труда горнорабочих.

5. Разработать эффективные способы нормализации условий труда горнорабочих в зависимости от параметров и технологических особенностей ППП.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Снабжение воздухом подземного горнодобывающего предприятия в требуемом для обеспечения безопасности ведения горных работ объеме при оптимальных затратах энергоресурсов обеспечивается путем регулирования режимов работы ГВУ, определяемых заранее при помощи корреляционно-регрессионного анализа, позволяющего спрогнозировать изменение воздухораспределения между шахтными стволами в заданном доверительном интервале с учетом инерционности системы проветривания и воздействия на нее случайных факторов, определяемых параметрами наружного воздуха в краткосрочном периоде с точностью 85–90 %.

2. Сезонное возникновение в воздухоподающих стволах зон, температура воздуха в которых отличается на 6–8 °С, в период воздухоподготовки в холодное время года вызвано инфильтрацией холодного наружного воздуха через надшахтное здание и связано с наличием в стволах армировки, что обуславливает образование в них «воздушных пробок», вызывающих опасность изменения температурного режима в смежных воздухоподающих стволах и обледенения крепи в них.

3. Технические и технологические решения, нивелирующие негативное влияние, вызванное инфильтрацией наружного воздуха в процессе воздухоподготовки, достигается увеличением поверхности теплообмена нагревающих элементов ШКУ, расположением теплообменников по периметру надшахтного здания и применением воздушной завесы, а также использованием низкопотенциального тепла дымовых газов с котельной установки для нагрева теплоносителя воздухонагревательных установок, что позволяет обеспечить равномерный прогрев воздуха в воздухоподающих стволах, устранив угрозу нарушения в них теплового режима, и снизить затраты энергетических ресурсов в пределах 11–18 %.

4. Преграждение пути движения воздуха из воздухоподающих стволов за счет использования автоматических вентиляционных дверей, расположенных в выработках главных направлений, при возникновении нештатной ситуации и включение при этом нагнетательных вентиляторов ШКУ в реверсивный режим системой автоматизации позволит существенно снизить

время на реверсирование струи воздуха в руднике за счет нейтрализации влияния выработанного пространства, начинающего играть роль источника тяги при реверсе ГВУ, а размещение мобильных быстровозводимых шахтных вентиляционных перемычек, месторасположение которых определяется заранее, в зависимости от возможного места возникновения пожара, исключит возможность попадания дымовых газов в рабочую зону.

5. Возникновение между горными выработками естественных тяг, способствующих движению воздуха в требуемом направлении, а также ограждение горных участков, не предназначенных для проветривания, мобильными быстровозводимыми перемышками позволяет исключить выпадение конденсата в горных выработках неглубоких рудников при снижении затрат электроэнергии на работу системы кондиционирования воздуха (СКВ) до 12 %, обеспечить подачу свежего воздуха в рабочие камеры в требуемом объеме без применения дополнительных источников тяги и снизить температуру воздуха в буровой галерее нефтешахт до требуемой при снижении затрат на проветривание в пределах 17–23 %.

Научная новизна результатов работы

1. Разработана и обоснована методика расчета величины и направления общерудничной естественной тяги, позволяющая обеспечивать подачу воздуха в требуемом объеме за счет управления режимами работы ГВУ при минимизации затрат энергоресурсов на проветривание.

2. Установлены причины температурной изменчивости воздуха по сечению и глубине воздухоподающих стволов, обуславливающая возникновение в них «воздушных пробок», вызывающих опасность изменения температурного режима в смежных воздухоподающих стволах.

3. Разработаны и обоснованы технические и технологические решения, позволяющие обеспечить равномерное распределение тепловых потоков по глубине и сечению воздухоподающих стволов, устранив проблему возникновения «воздушных пробок» и нерационального использования энергетических ресурсов.

4. Разработана и обоснована система проветривания рудника, работающая в автоматизированном режиме, позволяющая обеспечить промышленную безопасность в штатном и аварийном режимах проветривания.

5. Установлены зависимости возникновения между горными выработками естественных тяг, способствующих движению воздуха в требуемом направлении без использования дополнительных источников, на основании которых разработаны способы проветривания добычных участков подземных предприятий, позволяющие нормализовать условия

труда и безопасность горнорабочих с учетом их действия и применения быстровозводимых перемычек.

Методология и методы исследований: процедуры выявления «ложных» данных с целью исключения их влияния при обработке результатов экспериментов; методы корреляционно-регрессионного анализа, в том числе методы проверки статистических гипотез; оценка значимости отдельных параметров в полученных уравнениях регрессии; методы вычислительной математики для решения прикладных задач, в частности метод конечных элементов.

Достоверность и обоснованность научных результатов подтверждаются:

- сходимостью данных, полученных теоретическим путем согласно разработанной методике определения требуемого режима работы ГВУ, с результатами, полученными в ходе экспериментов (максимальное отклонение расчетных от опытных значений составляет 7 %);

- корректным проведением компьютерного моделирования распределения воздушных и тепловых потоков по шахтным стволам и горным выработкам.

- положительными результатами испытаний разработанной шахтной вентиляционной перемычки и соответствием ее характеристик, установленных в ходе компьютерного и математического моделирования, высоким изоляционным свойствам.

Теоретическая значимость работы заключается в системном подходе к управлению технологическими процессами проветривания на уровнях отдельной горной выработки, их совокупности в пределах рабочей зоны горного участка, вентиляционной сети в целом, включая шахтные стволы и поверхностные комплексы ГВУ, созданные на основе компьютерного моделирования, подкрепленные результатами натурных экспериментов:

- на основании корреляционно-регрессионного анализа получены уравнения регрессии, позволяющие определить величину и направление общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью;

- при помощи методов вычислительной математики решить прикладные задачи по распределению тепловых потоков в калориферном канале, в воздухоподающих стволах при работе системы воздухоподготовки и при совместном регулировании режимов работы ГВУ и ШКУ.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в следующем:

1. Разработанная методика позволяет осуществлять расчет общерудничной естественной тяги на основании данных измерений параметров воздуха только на ГВУ, что исключает необходимость учета временного запаздывания его поступления в воздухоподающие стволы, при из-

менении режима проветривания, а также позволяет осуществить прогнозирование воздухораспределения между шахтными стволами с учетом инерционности системы проветривания и других случайных факторов и выбрать требуемый режим работы ГВУ для поступления воздуха в необходимом объеме.

2. Установлены причины возникновения в воздухоподающих стволах «внутристволовой естественной тяги», часто достигающей величины, при которой воздух в ствол перестает поступать (возникает «воздушная пробка»), и появляется опасность нарушения температурного режима при воздухоподготовке в смежных воздухоподающих стволах.

3. Установлено, что при осуществлении воздухоподготовки в холодное время года следует располагать ШКУ в стенах надшахтного здания, либо использовать пластинчатые нагревательные элементы в калориферном канале, либо применять воздушную завесу в воздухоподающем стволе, а также использовать систему для нагрева воды, подаваемой в ШКУ, за счет тепла дымовых газов, для обеспечения равномерности прогрева воздуха по сечению и глубине ствола, что исключает возможность возникновения «воздушных пробок» и способствует снижению энергетических ресурсов, затрачиваемых на процесс нагрева воздуха.

4. Показано, что при размещении автоматических вентиляционных дверей для регулирования воздухораспределения в выработках главных направлений и включение нагнетательных вентиляторов ШКУ в реверсивный режим позволяют снизить влияние выработанного пространства на процесс проветривания, уменьшив тем самым время на реверсирование струи воздуха в случае возникновения нештатной ситуации, а изолирование горного участка от попадания в него воздуха и/или дымовых газов (при возникновении пожара) позволяет обеспечить безопасность в аварийном режиме проветривания.

5. Для обеспечения эффективности вентиляции и нормализации условий труда горнорабочих предложены новые способы проветривания добычных участков на примере калийных рудников и нефтяных шахт, в которых используются устройства для регулирования воздухораспределения, учитывающие положительное действие возникающих естественных тяг, и разработанная подземно-поверхностная система кондиционирования воздуха.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Работа соответствует паспорту специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» по следующим пунктам:

– в соответствии с п. 7 разработана шахтная вентиляционная перемычка, позволяющая быстро и надежно изолировать участок шахты

(рудника) от проникновения в него дымовых газов, что дает возможность **осуществить защиту горнорабочих в случае возникновения пожара;**

- в соответствии с п. 8 разработана новая **система кондиционирования воздуха** поверхностно-подземного типа, позволяющая повысить эффективность проветривания неглубоких рудников и снизить (исключить) негативные последствия, связанные с выпадением влаги в горных выработках, возникающие при отсутствии подобной системы;

- в соответствии с п. 11 разработаны научные основы **управления системой проветривания и воздухоподготовки**, позволяющие обеспечить подачу воздуха в требуемом объеме при изменяющихся внешних возмущающих факторах и **при возникновении нештатных ситуаций;**

- в соответствии с п. 12 **разработаны способы** проветривания добычных участков в нефтешахтах, позволяющие **улучшить условия труда горнорабочих.**

Апробация результатов диссертационной работы

Основные научные положения и практические рекомендации диссертационной работы были доложены и получили одобрение на научных, научно-технических и научно-практических конференциях, симпозиумах, форумах. Всероссийского уровня: «Молодежь и наука: начало XXI века» (Красноярск, 2008); «Нефтегазовое и горное дело» (Пермь, 2009–2018); «Системы обеспечения техносферной безопасности» (Таганрог, 2018, 2019). Международного уровня: «Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование» (Пермь, 2011, 2012); «Неделя горняка» (Москва, 2011, 2015–2018); «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений» (Екатеринбург, 2010); «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2011, 2013–2019); «Инновационные процессы в исследовательской и образовательной деятельности» (Пермь, 2013); «Тинчуринские чтения» (Казань, 2016, 2017); «Актуальные проблемы и перспективы развития Верхнекамья» (Березники, 2013); «Проблемы обеспечения безопасности в промышленности, строительстве и на транспорте» (Пермь, 2013, 2016); «Горная и нефтяная электромеханика» (Пермь, 2014–2018); «Международный инновационный горный симпозиум» (Кемерово, 2017–2019); «Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей», (Пермь, 2018); «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2019); «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2018), «Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности» (Челябинск, 2018, 2019); «Уральская Горнопромышленная декада» (Екатеринбург, 2020).

Реализация результатов работы. Основные научные результаты и практические рекомендации на основе предложенных способов проветривания добычных участков применены на калийных рудниках ПАО «Уралкалий», а также при разработке системы проветривания рудника Усольского калийного комбината (МХК «ЕвроХим») и Усть-Яйвинского калийного комбината ПАО «Уралкалий».

На основании полученного патента изготовлен опытный образец шахтной вентиляционной перемычки и произведены ее испытания на калийных рудниках Пермского края. Основные научные результаты используются при выполнении выпускных квалификационных работ на кафедре «Горная электромеханика» ПНИПУ.

Личный вклад автора заключается:

- в разработке методики определения величины и направления обшерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью и воздействия возмущающих факторов при проветривании и воздухоподготовке, позволяющей осуществить прогнозирование воздушораспределения между шахтными стволами для обеспечения безопасности в нормальном режиме и в случае возникновения нештатной ситуации с учетом инерционности состояния рудничной атмосферы;

- разработке математической модели и конструкции шахтной вентиляционной перемычки нового типа, позволяющей в кратчайший промежуток времени надежно перекрывать участок ПГП;

- разработке конструкций шахтных калориферных установок и способа размещения системы кондиционирования воздуха, позволяющих повысить эффективность и безопасность процесса воздухоподготовки, создать комфортные условия труда горнорабочих в шахтных стволах, горных выработках и в рабочей зоне;

- разработке схем проветривания добычных участков калийных рудников и нефтешахт, позволяющих обеспечить безопасные и комфортные условия труда в рабочих зонах при оптимизации затрат на электроэнергию.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано более 150 научных работ (39 в изданиях ВАК, 9 в изданиях Scopus и Web of Science), а также получено 20 патентов на полезную модель и изобретение.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения. Работа изложена на 298 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков и 21 таблицу. Список использованных источников состоит из 347 наименований, в том числе 65 зарубежных.

В первой главе проведен анализ эффективности и энергозатратности действующей организации проветривания на ПГП в нормальных и аварийных условиях.

Вторая глава посвящена разработке основ управления процессом проветривания при воздействии случайных факторов, прогнозирования требуемых режимов работы ГВУ в зависимости от изменяющихся внешних условий и с учетом инерционности процесса воздухораспределения между подземными горными выработками.

В третьей главе произведена оценка эффективности существующих систем воздухоподготовки в холодное время года и причин возникновения в воздухоподающих стволах «воздушных пробок», препятствующих проветриванию, при изменении режимов работы ШКУ, а также разработаны решения по повышению эффективности их работы.

В четвертой главе рассмотрены существующие системы управления проветриванием в нештатных ситуациях, в том числе с использованием частичного повторного использования (рециркуляции) воздуха.

В пятой главе произведено математическое моделирование свойств предлагаемой шахтной вентиляционной переемычки (ШВП), на основании которых разработана ее конструкция для условий калийных рудников (на примере выработок, пройденных комбайном «Урал-20Р»).

В шестой главе рассмотрены методологические основы обеспечения требуемых условий труда горнорабочих в добычных участках при повышенных значениях температуры воздуха в них.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Снабжение воздухом подземного горнодобывающего предприятия в требуемом для обеспечения безопасности ведения горных работ объеме при оптимальных затратах энергоресурсов обеспечивается путем регулирования режимов работы ГВУ, определяемых заранее при помощи корреляционно-регрессионного анализа, позволяющего спрогнозировать изменение воздухораспределения между шахтными стволами в заданном доверительном интервале с учетом инерционности системы проветривания и воздействия на нее случайных факторов, определяемых параметрами наружного воздуха в краткосрочном периоде с точностью 85–90 %.

На эффективность процесса проветривания оказывает влияние достаточно большое число факторов, из которых при управлении следует учитывать следующие:

1. Величина и направление общерудничной (общешахтной) естественной тяги, действующей между шахтными стволами.

2. Инерционность характеристик системы проветривания подземного горнодобывающего предприятия, связанная с разветвленностью сети горных выработок, объема, заключенного в них воздуха, разделения шахтной сети на отдельные «зоны», в том числе «труднопроветриваемые».

3. Действие в горных выработках добычных участков источников тяги как искусственных (вентиляторов), так и естественных, возникающих между подземными горными выработками, а также изолирующих устройств (шахтных вентиляционных перемычек).

4. Режим работы ГВУ и системы воздухоподготовки.

5. Характер и объем внешних утечек воздуха.

Все эти факторы условно можно разделить на детерминированные и случайные, зависящие от законов природы (объективные) или от решения по управлению (субъективные).

На режим работы ГВУ и воздухоподготовки, а также на величину внешних утечек воздуха можно повлиять соответствующими техническими и организационными решениями, но на величину общерудничной естественной тяги (ОЕТ), которая зависит от атмосферных параметров воздуха, или на инерционность системы проветривания повлиять сложно, а порой кажется, что и невозможно.

Действительно, при регулировании режимов работы ГВУ и системы воздухоподготовки на эффективность этого процесса влияют случайные факторы и величина самой ОЕТ: при изменении режимов работы системы воздухоподготовки изменяются параметры воздуха, поступающего в воз-

духоподающие стволы. Изменение объемного расхода воздуха, поступающего в подземные горные выработки, приводит к тому, что изменяется воздухораспределение и, следовательно, все связанные с этим процессы.

Таким образом, можно сделать вывод, что, зная реальные взаимосвязи между всеми процессами проветривания, ими можно управлять, однако не напрямую, а косвенно. Это предположение было доказано при проведении экспериментальных исследований на руднике БКПРУ-2 (ПАО «Уралкалий»).

Первый эксперимент осуществлен при отключении ГВУ (начало в 22.00 часа). Измерения параметров воздуха далее производились непрерывно в течение 6,5 часа через каждые 20–40 минут. При этом измерения выполнялись одновременно (т.е. синхронно) как под землей, так и на поверхности. Под землей параметры воздуха измерялись последовательно: сначала в околоствольном дворе одного воздухоподающего ствола, затем другого, а в конце каждого из опытов – в околоствольном дворе вентиляционного ствола. Одновременно на поверхности измерялись параметры наружного воздуха.

Результаты этих измерений, выполненных при отключении ГВУ, приведены на рисунке 1.

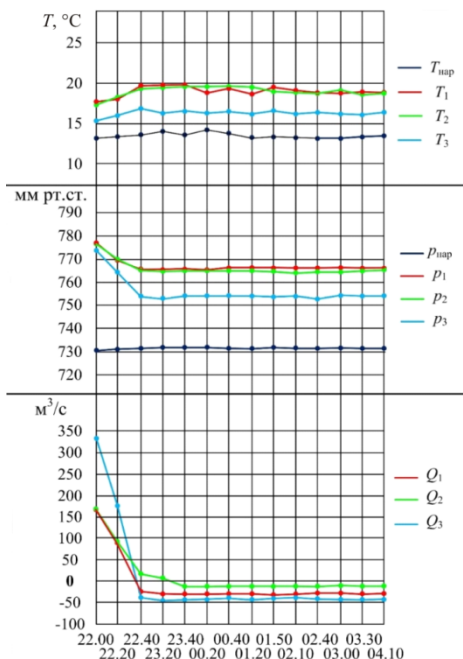


Рисунок 1 – Графики изменения параметров воздуха в период испытаний при отключении ГВУ

В результате эксперимента установлено, что для возникновения естественной тяги не потребовалось каких-либо других условий, кроме изменения параметров наружного воздуха, а воздухораспределение между стволами зависело от ее величины и направления. Поэтому использование термина «естественная» тяга для объяснения особенностей воздухообмена в рассматриваемом случае является обоснованным.

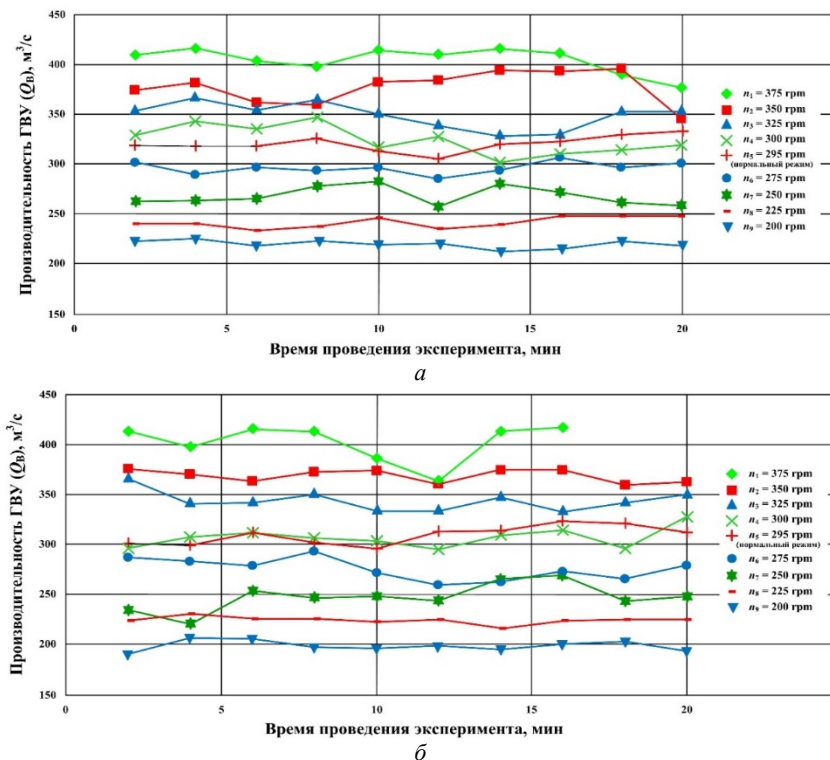


Рисунок 2 – Изменение производительности Q_v при различной скорости вращения рабочего колеса ГВУ (в течение эксперимента):
 а – в летнее время года; б – в зимнее время года

При этом на рисунке 1 видно, что параметры наружного воздуха ($T_{\text{нар}}$, p_a) за все время проведения эксперимента (т.е. за все 6,5 часа) менялись незначительно, в результате чего и ОЕТ не должна была изменяться существенно, а объемный расход воздуха в шахтных стволах также не должен был заметно варьироваться, что подтверждают результаты измерений.

Роль «естественной» составляющей ОЕТ при работе ГВУ определялась путем проведения эксперимента на том же руднике (БКПРУ-2, ПАО «Уралкалий»). Для этого были произведены измерения производительности ГВУ при различных скоростях вращения рабочего колеса вентилятора (рисунок 2). Как видно из графиков, производительность ГВУ скачкообразно изменяется в широких пределах, поэтому из результатов испытания предварительно с помощью методов математической статистики были устранены так называемые «ложные» данные. Средние значения производительности ГВУ (Q_B) и развиваемого ею давления (h_B) при различных скоростях вращения рабочего колеса вентилятора ($n_{\text{вент}, i}$) во время проведения летнего и зимнего экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения давления, развиваемого ГВУ, и производительности ГВУ во время проведения зимнего и летнего экспериментов (при изменении производительности ГВУ)

№ п/п	Производительность ГВУ, Q_B , м ³ /с		Разность между значениями ΔQ_B , м ³ /с	Давление, развиваемое ГВУ, h_B , Па		Разность между значениями Δh_B , Па
	летний эксперимент	зимний эксперимент		летний эксперимент	зимний эксперимент	
1	408,14	405,2	2,94	2633,71	2712,52	-78,81
2	368,8	377,8	-9,0	2297,64	2393,8	-96,16
3	343,33	351,4	-8,07	2022,29	2098,62	-76,33
4	304,44	325,2	-20,76	1765,15	1800,5	-35,35
5	309,8	321,9	-12,1	1701,41	1722,05	-20,64
6	275,5	296,6	-21,1	1494,49	1525,92	-31,43
7	247,8	269,5	-21,7	1300,33	1260,16	40,17
8	224,88	242,4	-17,52	1065,22	1038,52	26,7
9	199,2	220,8	-21,6	866,88	833,57	33,31
Σ	2681,89	2810,8	-128,91	15147,12	15385,66	-238,54
Σ/n	297,99	312,31	-14,32	1683,01	1709,52	-26,50

Примечание. Скорость вращения рабочего колеса вентилятора ГВУ: № 1 – $n_{\text{вент},1} = 375$ об/мин; № 2 – $n_{\text{вент},2} = 350$ об/мин; № 3 – $n_{\text{вент},3} = 325$ об/мин; № 4 – $n_{\text{вент},4} = 300$ об/мин; № 5 (нормальный режим работы) – $n_{\text{вент},5} = 295$ об/мин; № 6 – $n_{\text{вент},6} = 275$ об/мин; № 7 – $n_{\text{вент},7} = 250$ об/мин; № 8 – $n_{\text{вент},8} = 225$ об/мин; № 9 – $n_{\text{вент},9} = 200$ об/мин.

Анализ данных эксперимента показал, что производительность ГВУ и развиваемое ею давление в период проведения зимнего и летнего экспериментов отличаются незначительно. Однако температура воздуха на дневной поверхности и поступающего в шахтные стволы, а также его барометриче-

ское давление отличались существенно. Следовательно, помимо ОЕТ, действующей во время проведения экспериментов, на процесс проветривания влияли другие внешние факторы.

Известно, что для нахождения значения давления, развиваемого ГВУ, с учетом действия ОЕТ (h_e) необходимо построить уравнение регрессии:

$$h_B = h_e + R_{\text{руд}} Q_B^2, \quad (1)$$

где $R_{\text{руд}}$ – величина аэродинамического сопротивления рудника (шахты).

Учитывая, что значения Q_B и h_B во время зимнего и летнего экспериментов (см. таблицу 1) отличаются друг от друга незначительно, а судя по параметрам воздуха, поступающего в шахтные стволы, значения ОЕТ в эти периоды должно отличаться достаточно существенно, изменяющимся параметром в уравнении (1) должен являться параметр $R_{\text{руд}}$.

Для поиска параметров ($R_{\text{руд}}$ и h_e) необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n h_{B,i} - R_{\text{руд}} \sum_{i=1}^n Q_{B,i}^2 - h_e n_{\text{изм}} = 0 \\ \sum_{i=1}^n h_{B,i} Q_{B,i}^2 - R_{\text{руд}} \sum_{i=1}^n Q_{B,i}^4 - h_e \sum_{i=1}^n Q_{B,i}^2 = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $n_{\text{изм}}$ – количество проведенных серий измерений во время эксперимента (испытаний при каждой различной скорости вращения рабочего колеса).

Решение системы уравнений (2) дает искомые значения:

$$R_{\text{руд}} = \frac{\overline{Q_B^2 h_B} - \overline{Q_B^2} \overline{h_B}}{\overline{Q_B^4} - \left(\overline{Q_B^2} \right)^2}, \quad (3)$$

$$h_e = \overline{h_B} - R_{\text{руд}} \overline{Q_B^2}. \quad (4)$$

Здесь черта над каждой из переменных означает ее среднее значение, вычисленное по опытным данным.

Для определения влияния ОЕТ (h_e), действующей в период измерений, на процесс проветривания необходимо выполнить следующие процедуры:

- проверить значимость найденных параметров h_e и $R_{\text{руд}}$;
- проверить адекватность уравнения (3) и (4) опытным (измеренным) данным (проверку его значимости в целом);
- оценить точность полученного уравнения.

Проверка значимости вычисленного значения h_e также выполняется с помощью t -статистики Стьюдента.

После выполнения статистических оценок по формулам (2)–(4) получены значения h_e и $R_{\text{руд}}$, приведенные в таблице 2.

В результате расчетов установлено, что на одном и том же руднике при аналогичном изменении режимов работы ГВУ значение ОЕТ в летнем эксперименте ($h_{e(лето)} = 406,1$ Па) более чем в 5 раз отличается от соответствующего значения во время проведения зимнего эксперимента ($h_{e(зима)} = 75,99$ Па). Также существенно отличаются значения аэродинамического сопротивления рудника – на 18,5 %. При этом, как отмечалось ранее, анализ данных, приведенных в таблице 1, показал, что объемный расход воздуха, поступающего в рудник, и развиваемое ГВУ давление во время проведения зимнего и летнего экспериментов отличаются незначительно.

Таблица 2 – Результаты расчетов общерудничной естественной тяги и аэродинамического сопротивления рудника

Время проведения эксперимента	Параметр			
	h_e , Па	$R_{руд}$, (Н·с ²)/м ⁸	$h_{нижняя}$, Па	$h_{верхняя}$, Па
Летний эксперимент ($h_{e(лето)}$)	406,1	0,01374	386,77	425,44
Зимний эксперимент ($h_{e(зима)}$)	75,99	0,01686	66,80	85,18

Большая часть (около 80 %) аэродинамического сопротивления калийного рудника, на одном из которых были проведены эксперименты, приходится на шахтные стволы и на главные выработки, отходящие от них. Ввиду того что разность во времени между экспериментами составляет менее года, можно утверждать, что за этот период значимых изменений параметров шахтных стволов и главных горных выработок рудника произойти не могло. Тогда при незначительном отличии значений h_B и Q_B , а также значения $R_{руд}$ согласно формуле (4) будет наблюдаться неравенство: $h_B = h_{e(лето)} + R_{руд} Q_B^2 \neq h_B = h_{e(зима)} + R_{руд} Q_B^2$.

Следовательно, помимо ОЕТ на процесс проветривания существенно влияют другие внешние факторы, изменяющиеся во времени.

В ранее проведенных исследованиях получены формулы для определения величины ОЕТ при известных параметрах наружного воздуха. Согласно этим формулам значения ОЕТ составили: летом $h'_{e(лето)} = 431,23$ Па, зимой – $h'_{e(зима)} = 143,20$ Па, т.е. отличие значений ОЕТ, полученных при летнем эксперименте, от расчетного значения составляет 5,8 %, а при зимнем данные отличаются почти в 2 раза. Исходя из этого можно сделать вывод, что существующие математические зависимости в летнее время позволяют с высокой степенью точности рассчитать значение ОЕТ при известных параметрах наружного воздуха, а в зимнее их точность низкая. Причина заключается в работающей в зимнее время года ШКУ, в результате чего в воздухоподающий ствол поступает воздух с изменяющейся температурой.

В этом случае формула (4) для определения величины давления, развиваемого ГВУ с учетом возникающей ОЕТ и другого вида тяги (обозначим через $\tilde{h}_e$), примет вид:

$$h_B = \tilde{h}_e + h_e + R_{\text{руд}} Q_B^2. \quad (5)$$

Установить зависимость переменной $\tilde{h}_e$ от режима работы ГВУ и системы воздухоподготовки можно для каждого рудника в отдельности при проведении на нем аналогичных испытаний, а именно измерений производительности и давления, развиваемого ГВУ, при различных скоростях вращения рабочего колеса вентилятора и при различных параметрах наружного воздуха.

Получив зависимость изменения параметров работы ГВУ при влиянии внешних факторов ($\tilde{h}_e$) и определив значение ОЕТ в зависимости от изменяющихся параметров наружного воздуха, можно спрогнозировать требуемый режим проветривания.

Выяснить параметры наружного воздуха можно заблаговременно по результатам метеорологических условий. В настоящее время, согласно данным исследователей, успешность (оправдываемость) гидрометеорологических прогнозов и предупреждений об атмосферных явлениях достигает 85–90 %. Следовательно, получив данные метеорологических условий, можно заблаговременно рассчитать значение ОЕТ и выбрать режим работы ГВУ, при котором будет обеспечиваться требуемый режим проветривания.

2. Сезонное возникновение в воздухоподающих стволах зон, температура воздуха в которых отличается на 6–8 °С, в период воздухоподготовки в холодное время года вызвано инфильтрацией холодного наружного воздуха через надшахтное здание и связано с наличием в стволах армировки, что обуславливает образование в них «воздушных пробок», вызывающих опасность изменения температурного режима в смежных воздухоподающих стволах и обледенения крепи в них.

В процессе проветривания в холодное время года в шахтных стволах возникают «воздушные пробки». В результате этого явления по одному из воздухоподающих стволов почти полностью в рудник перестает поступать воздух, а по другому (остальным) воздухоподающему стволу (стволам) начинает поступать в повышенном по сравнению с расчетным объеме. Следовательно, через ШКУ соседнего (соседних) воздухоподающих стволов может пройти воздух в объеме, не рассчитанном на ее теплопроизводительность, что может привести к выводу из строя системы воздухоподготовки. Как показывает практика, единственным способом «пробить» в воздухоподающем стволе «воздушную пробку» является

принудительная ее ликвидация многократной проходкой скипа и/или клетки через блокированный по воздуху участок.

Ранее установленный факт влияния на процесс проветривания вида тяги, обозначенного через $\tilde{h}_e$, в холодное время года объясняет возникновение «воздушных пробок» именно в период работы ШКУ. Исходя из этого, необходимо установить факторы, влияющие на изменение ОЕТ при работе ШКУ и вызывающие в воздухоподающих стволах «воздушные пробки».

Ввиду того что шахтный ствол армирован, он разделяется на отдельные участки («воздуховоды») с различными сечениями. В этом случае скорости, а следовательно, и объемный расход воздуха в каждом из сечений будут различными, т.е. и нагрев воздуха в них будет неравномерным.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты моделирования процесса распределения тепловых потоков воздуха в воздухоподающем стволе с учетом его армировки.

В результате проведенного моделирования подтверждено предположение, что по сечению ствола наблюдается неравномерный прогрев воздуха, т.е. в нем присутствуют потоки, где движется холодный воздух. При этом по мере движения вниз по стволу холодный воздух в целом не смешивается с остальными потоками (нагретым воздухом), а перемещается в другие области, лишь незначительно увеличивая свою температуру, создавая угрозу обледенения крепи ствола.

Традиционное увеличение температуры подаваемого воздуха (см. рисунок 4) не позволяет исправить ситуацию с перераспределением теплового поля. Этот факт вызывает возникновение в шахтных воздухоподающих стволах нескольких столбов воздуха с различной температурой, что в конечном итоге приводит к тому, что в самом стволе начинает действовать «внутристволовая естественная тяга», являющаяся причиной возникновения «воздушных пробок» в них.

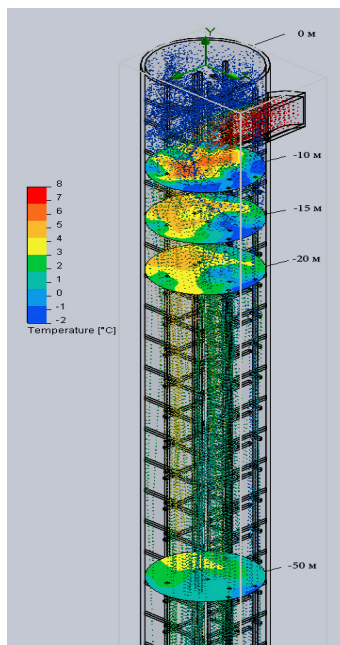


Рисунок 3 – Распределение теплового поля по воздухоподающему стволу

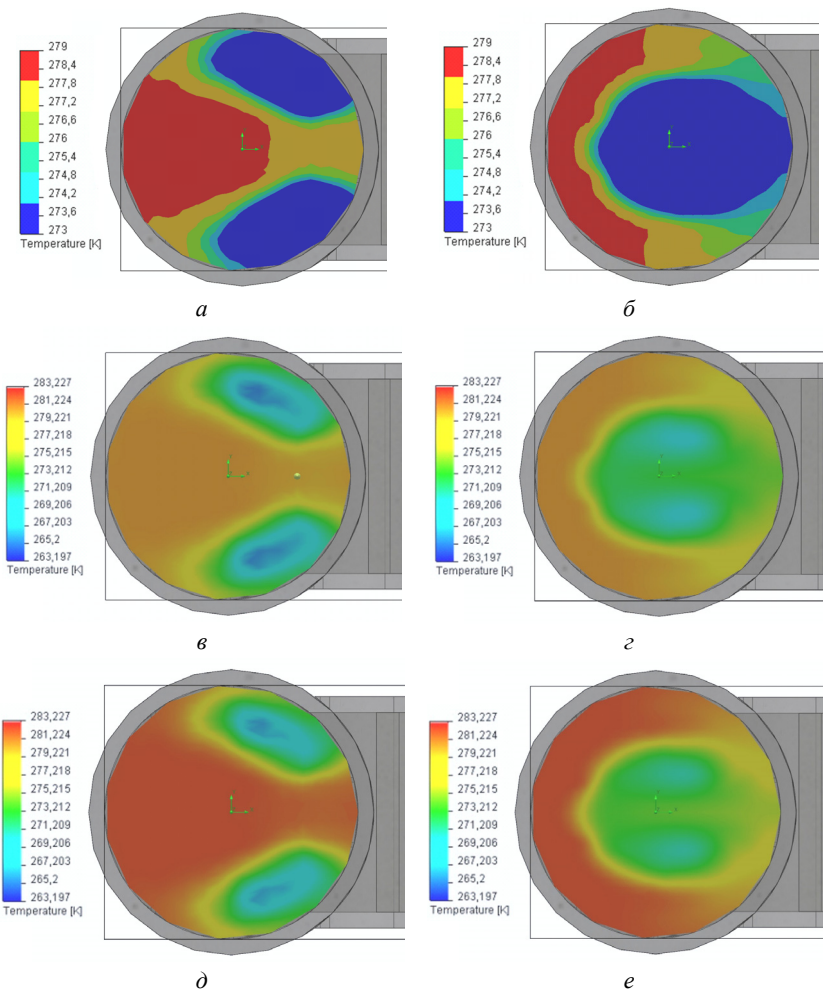


Рисунок 4 – Распределение тепловых потоков по стволу при $Q_{\text{шк}} = 147,27 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{\text{н.зд.}} = 20,71 \text{ м}^3/\text{с}$: *a*, *в*, *д* – на отметке минус 15 м; *б*, *г*, *е* – на отметке минус 30 м, при изменяющейся температуре воздуха, поступающего через калориферный канал: *a*, *б* – 5 °С; *в*, *г* – 7 °С; *д*, *е* – 9 °С

Ввиду того что увеличение температуры воздуха на выходе из ШКУ не позволяет нормализовать распределение теплового поля по сечению ствола, был смоделирован процесс изменения скорости и температуры

воздуха при движении по калориферному каналу, через который нагретый воздух поступает в воздухоподающий ствол (рисунок 5).

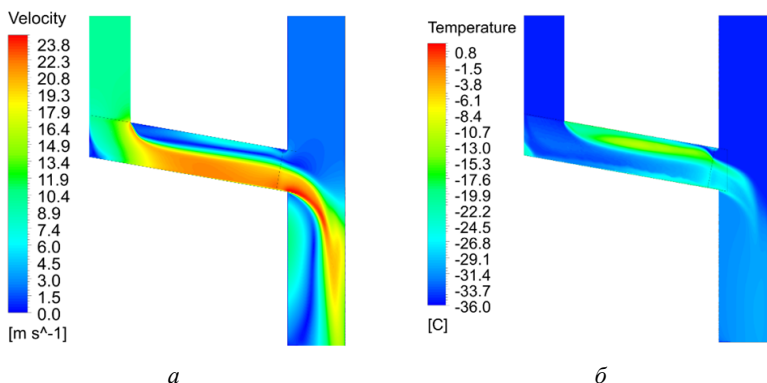


Рисунок 5 – Изменение параметров воздуха при движении по калориферному каналу: *а* – скорости потока воздуха; *б* – температуры потоков воздуха

Процесс моделирования показал, что даже при равномерном прогреве воздуха в ШКУ уже в калориферном канале наблюдается конвективная стратификация воздушных потоков.

Таким образом, в результате моделирования процесса воздухоподготовки установлено, что существующие ШКУ, а также способы регулирования режимов их работы не позволяют обеспечивать равномерный прогрев воздуха, подаваемого в воздухоподающий ствол в холодное время года. В результате этого в стволе возникает «внутристволовая естественная тяга», вызывающая аварийную ситуацию – возникновение «воздушных пробок».

Найти величину «внутристволовой естественной тяги» можно в ходе эксперимента, как описано выше. При известном значении $R_{\text{руд}}$, полученном при отключении ШКУ, величина этой тяги численно равна $\tilde{h}_e$.

3. Технические и технологические решения, нивелирующие негативное влияние, вызванное инфильтрацией наружного воздуха в процессе воздухоподготовки, достигается увеличением поверхности теплообмена нагревающих элементов ШКУ, расположением теплообменников по периметру надшахтного здания и применением воздушной завесы, а также использованием низкопотенциального тепла дымовых газов с котельной установки для нагрева теплоносителя воздушонагревательных установок, что позволяет обеспе-

чить равномерный прогрев воздуха в воздухоподающих стволах, устранив угрозу нарушения в них теплового режима, и снизить затраты энергетических ресурсов в пределах 11–18 %.

Общезвестно, что для повышения эффективности воздухоподготовки необходимо увеличивать поверхность теплообмена нагревательных элементов. Однако возрастание размеров нагревательных элементов повлечет за собой соответствующее увеличение габаритных размеров всей ШКУ, а следовательно, и площади, занимаемой ею на промплощадке.

Для решения этой проблемы разработана конструкция ШКУ, состоящая из пластинчатых элементов. Расположение пластинчатых элементов по ходу движения воздуха обеспечит минимальное аэродинамическое сопротивление при высоком коэффициенте теплоотдачи (большой площади теплообмена).

Сущность предлагаемого технического решения заключается в том, что применяемые в ШКУ пластинчатые нагревательные элементы закреплены в части калориферного канала, прилегающей к воздухоподающему стволу, и ориентированы по потоку поступающего наружного воздуха (рисунок 6). Подобное расположение пластин увеличит поверхность теплообмена, но при этом не потребуются дополнительного места на промплощадке, так как нагревательные пластины будут расположены в свободном месте – калориферном канале.

За счет горизонтального расположения нагревательных пластин калориферный канал разобьется на поэтажные участки, в которых температурное распределение воздуха по сравнению с существующими системами воздухоподготовки будет более равномерным. Перемешиваться потоки нагретого и охлажденного воздуха в калориферном канале будут за счет нагнетательного вентилятора, установленного на входе и/или выходе потока воздуха в ШКУ (в калориферном канале). В этом случае дополнительно появляется возможность осуществлять более плавное регулирование процесса смешивания потоков нагретого в ШКУ и подсасываемого через надшахтное здание холодного потоков воздуха в воздухоподающем стволе.

Результаты математического моделирования распределения тепловых потоков при предлагаемой конструкции ШКУ представлены на рисунке 7.

По распределению теплового поля видно, что температурный градиент смещен в сторону верхней стенки калориферного канала, однако при обеспечении смешивания этих потоков на выходе из установки можно добиться более однородной воздушной струи.

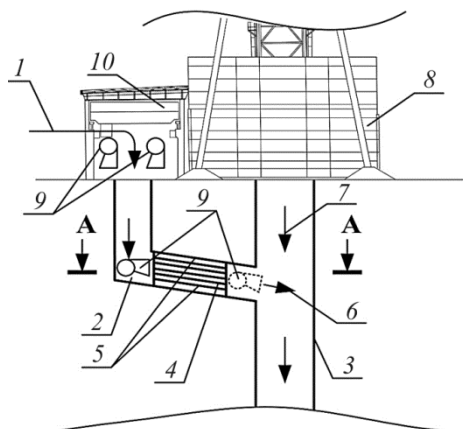


Рисунок 6 – ШКУ, состоящая из пластинчатых нагревательных элементов:
 1 – наружный воздух; 2 – калориферный канал; 3 – воздухоподающий ствол;
 4 – шахтная калориферная установка; 5 – пластинчатые элементы;
 6 – нагретый воздух; 7 – подсасываемый наружный воздух; 8 – надшахтное здание;
 9 – нагнетательные вентиляторы; 10 – поверхностное здание

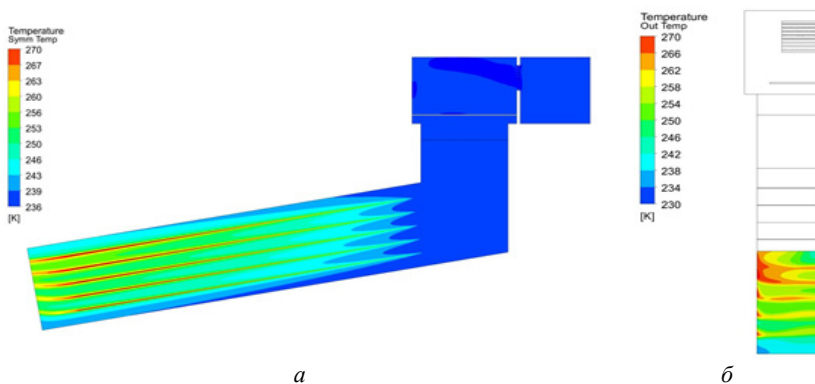


Рисунок 7 – Распределение теплового поля
 в калориферном канале при горизонтальном расположении
 нагревательных пластин: а – вид сбоку; б – вид спереди

Конечно, при использовании предлагаемой установки в каждом отдельном случае необходимо оценивать затраты энергоресурсов на нагрев пластин и работу нагнетательных вентиляторов. Однако в любом случае, при использовании подобной конструкции есть положительный эффект, связанный с тем, что нагнетательный вентилятор (стоящий на выходе

калориферного канала) будет нагнетать поток нагретого воздуха в ствол, минуя препятствие – калориферный канал. В этом случае появляется возможность регулировать не только температуру потока, но и режим смешивания исходящего из ШКУ воздуха с подсасываемым наружным.

Для решения проблемы смешиваемости потоков воздуха предложена еще одна конструкция ШКУ, приведенная на рисунке 8. В этой схеме нагреваемый воздух засасывается в ШКУ за счет общешахтной депрессии, создаваемой ГВУ, но не через калориферный канал, а через теплообменники, находящиеся по периметру надшахтного здания.

В расчетах приняты теплопроизводительность ШКУ и параметры наружного воздуха, используемые для моделирования процесса воздухоподготовки в существующей системе с калориферным каналом (см. рисунки 3, 4).

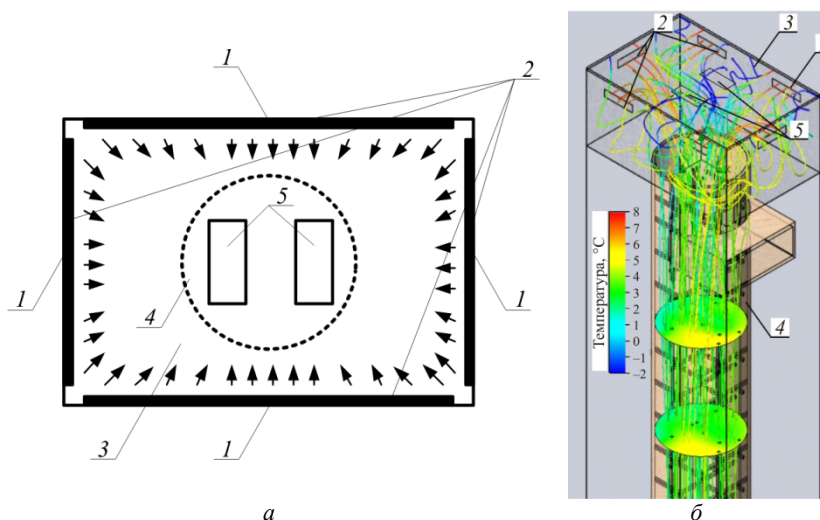


Рисунок 8 – ШКУ, расположенная по периметру надшахтного здания:
а – вид сверху; *б* – распределение теплового поля по воздухоподающему стволу;
1 – теплообменники; *2* – шахтная калориферная установка; *3* – надшахтное здание; *4* – воздухоподающий ствол; *5* – скиповые окна

Как видно из рисунка 8, *б*, за счет того, что ШКУ состоит из теплообменников, расположенных по периметру надшахтного здания, поток холодного воздуха, поступающего через скиповые окна, смешивается в устье воздухоподающего ствола и в стволе наблюдается распределение тепловых полей с незначительным температурным разбросом.

Для действующих систем воздухоподготовки, где уже присутствует калориферный канал, предложено иное техническое решение: расположение выше его сопряжения с воздухоподающим стволом воздушной завесы (рисунок 9, а).

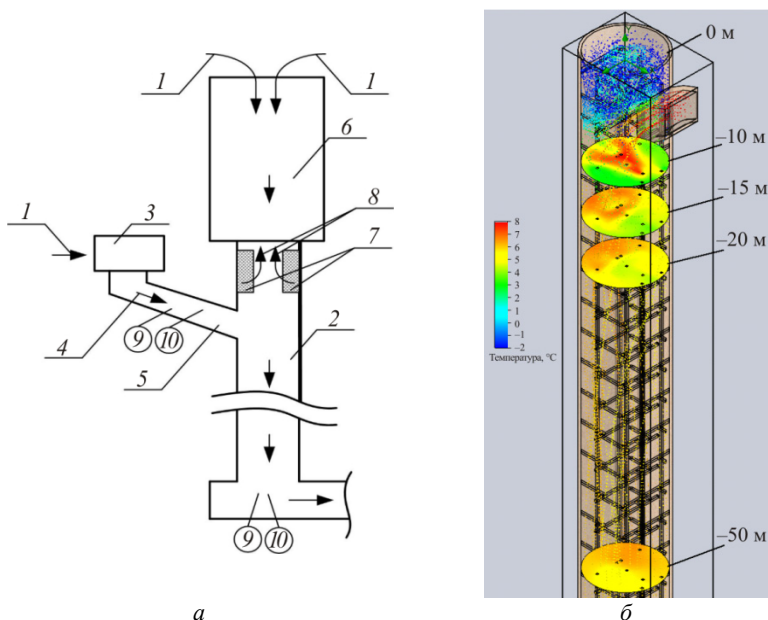


Рисунок 9 – Использование воздушной завесы при воздухоподготовке: а – принципиальная схема; б – распределение теплового поля; 1 – наружный воздух (холодный); 2 – воздухоподающий ствол; 3 – ШКУ; 4 – нагретый воздух; 5 – калориферный канал; 6 – надшахтное здание воздухоподающего ствола; 7 – воздушная завеса; 8 – воздух, выдаваемый из воздушной завесы; 9 – датчик расхода воздуха; 10 – датчик температуры, давления (или плотномер)

Результаты моделирования распределения температуры воздуха по сечению воздухоподающего ствола при использовании воздушной завесы, установленной в устье ствола, приведены на рисунке 9, б.

Как видно из этих данных, предлагаемый способ также позволяет решить проблему смешивания потоков воздуха при воздухоподготовке.

Моделирование показало, что в воздухоподающем стволе при использовании воздушной завесы отсутствуют зоны с температурой, близкой к $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. устранена угроза нарушения правил безопасности. При этом на работу ШКУ потребуется меньшее количество энергоресурсов,

т.е. снизятся затраты на воздухоподготовку. По сравнению с объемом энергоресурсов, расходуемых на работу ШКУ, затраты электроэнергии, расходуемой на работу воздушной завесы, несоизмеримо малы.

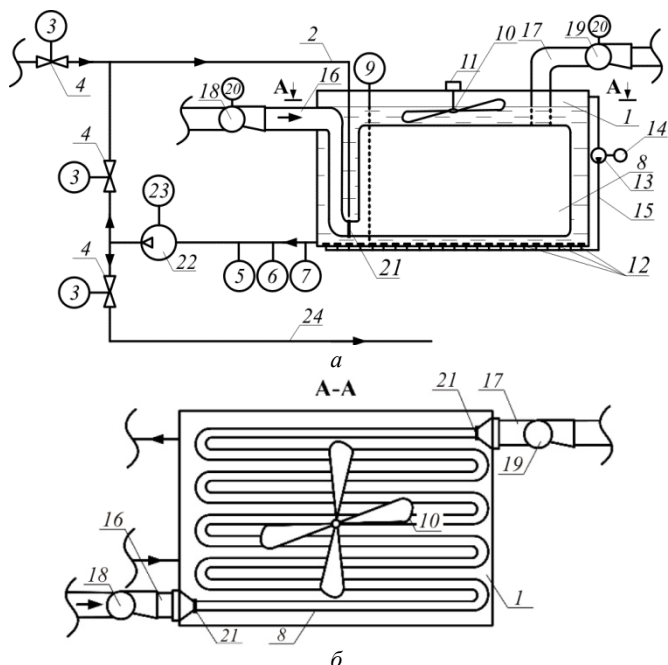


Рисунок 10 – Подача воды в резервуар для нагрева воды дымовыми газами: *а* – подача дымовых газов в теплообменник; *б* – теплообменник (вид сверху) в разрезе; 1 – резервуар для подогрева воды; 2 – трубопровод для подачи воды; 3 – устройство управления задвижкой; 4 – управляемая задвижка; 5 – датчик температуры; 6 – датчик расхода; 7 – датчик давления; 8 – змеевик; 9 – датчик уровня воды; 10 – пропеллерная мешалка; 11 – устройство управления пропеллерной мешалкой; 12 – пневматический перемешиватель воды («джакузи»); 13 – компрессор; 14 – устройство управления компрессором; 15 – воздуховод; 16 – входной трубопровод для дымовых газов котельной установки; 17 – выходной трубопровод для дымовых газов котельной установки; 18, 19 – дутьевые вентиляторы; 20 – устройство управления дутьевыми вентиляторами; 21 – устройство для съема змеевика; 22 – циркуляционный насос; 23 – устройство управления циркуляционным насосом; 24 – трубопровод для подачи нагретой воды в камеру смешения

В случае использования воды в качестве теплоносителя для ШКУ, нагрев ее в весенне-осенний периоды, когда температура наружного воздуха близка к требуемым $+2^{\circ}\text{C}$, предложено осуществлять при помощи

дымовых газов (рисунок 10). Ввиду того что котельные установки используются на подавляющем большинстве ППП, тепловую энергию с них можно применять как дополнительный источник для нагрева воды.

Предложенные способы воздухоподготовки позволяют обеспечить в воздухоподающих стволах равномерный прогрев воздуха по всему его сечению, в результате чего практически полностью устраняется проблема возникновения «воздушных пробок» при снижении затрат энергоресурсов на воздухоподготовку. Отсутствие «внутристволовой естественной тяги» позволяет в свою очередь обеспечивать требуемую температуру воздуха в стволах, в результате чего с помощью регулирования режима работы ШКУ можно не только прогнозировать процесс воздухораспределения между шахтными стволами, но и управлять им за счет изменения температуры подаваемого воздуха.

4. Преграждение пути движения воздуха из воздухоподающих стволов за счет использования автоматических вентиляционных дверей, расположенных в выработках главных направлений, при возникновении нештатной ситуации и включение при этом нагнетательных вентиляторов ШКУ в реверсивный режим системой автоматизации позволит существенно снизить время на реверсирование струи воздуха в руднике за счет нейтрализации влияния выработанного пространства, начинающего играть роль источника тяги при реверсе ГВУ, а размещение мобильных быстровозводимых шахтных вентиляционных перемычек, месторасположение которых определяется заранее, в зависимости от возможного места возникновения пожара, исключит возможность попадания дымовых газов в рабочую зону.

В настоящее время зачастую наблюдается ситуация, когда хорошо рекомендовавшие себя системы с точки зрения энерго- и ресурсосбережения в нормальных условиях проветривания ППП не позволяют обеспечивать безопасность при возникновении аварии.

На рисунке 11 приведена предлагаемая система проветривания с частичным повторным использованием (рециркуляцией) воздуха, при реализации которой в нормальном режиме обеспечиваются энергоэффективность, а в аварийном режиме проветривания – безопасность. Отличием этой системы от существующих является установка в руднике автоматических вентиляционных дверей (АВД) не в главных вентиляционных выработках, а в выработках главных направлений.

В штатном режиме система будет осуществлять частичную подачу воздуха, исходящего из ППП, обратно на свежую струю. Объемный расход рециркулируемого воздуха будет зависеть от степени его загрязненности (определяется датчиками состава воздуха 10 на рисунке 11). В этом случае АВД находятся в открытом положении, а управление воздухорас-

пределением осуществляется за счет использования вентиляторов или изолирующих устройств на участках.

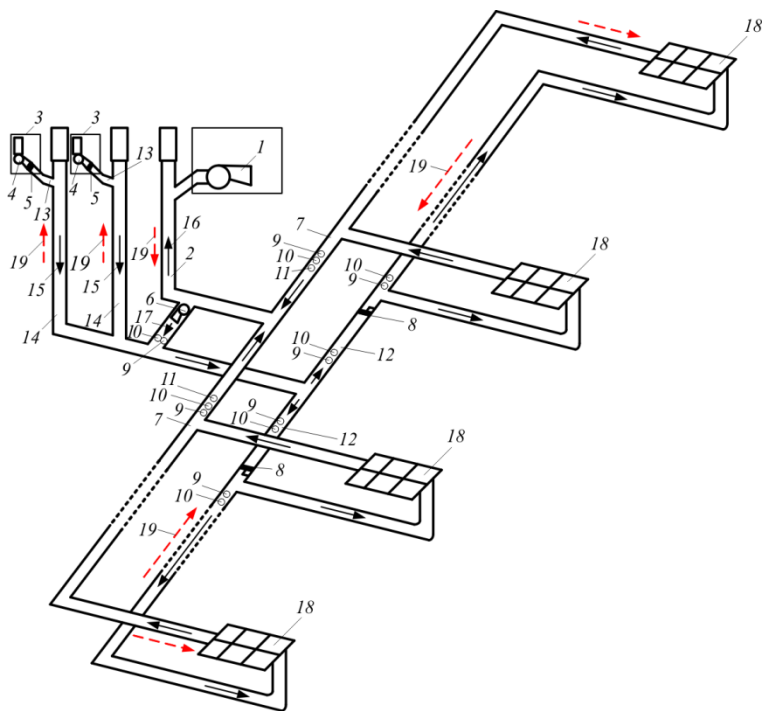


Рисунок 11 – Схема проветривания рудника при использовании системы рециркуляции по предлагаемому способу: 1 – ГВУ; 2 – вентиляционный ствол; 3 – здание ШКУ; 4 – вентилятор ШКУ; 5 – теплообменник ШКУ; 6 – рециркуляционный вентилятор; 7 – главные вентиляционные выработки; 8 – автоматические вентиляционные двери; 9 – датчик расхода воздуха; 10 – датчики состава воздуха; 11 – датчики давления и температуры (или плотномер); 12 – выработки главных направлений; 13 – калориферный канал; 14 – воздухоподающий ствол; 15 – поступающий воздух; 16 – выдаваемый воздух; 17 – рециркуляционный воздух; 18 – добычные участки; 19 – требуемое направление движения воздуха при реверсе ГВУ

При нормальном режиме проветривания энергосбережение обеспечивается за счет регулирования производительности ГВУ с учетом рециркулируемого воздуха и ОЕТ.

В случае возникновения нештатной ситуации, как известно, необходимо осуществлять реверсирование струи воздуха в руднике. Однако ранее

установлено, что вследствие наличия больших объемов выработанного пространства в руднике выполнить реверс за короткий период времени невозможно, так как в системе разветвленных горных выработок с большими свободными объемами возникают свои источники тяги. В результате воздух в ППП начинает поступать не только по вентиляционному стволу, но одновременно и по воздухоподающим стволам. В таких условиях сохраняется угроза распространения дымовых газов по горным выработкам и опасная подача свежего воздуха в зону пожара.

Наличие АД в выработках главных направлений (см. рисунок 11) позволяет перекрыть путь поступления воздуха из воздухоподающих стволов и рециркуляционного контура. При этом зона пониженного давления перемещается из выработанного пространства в участки, расположенные за АД, в результате чего снижается время на реверсирование струи воздуха. По ходу налаживания процесса проветривания в реверсивном режиме АД постепенно начнут открываться, освобождая путь воздуху из ППП по воздухоподающим стволам на дневную поверхность.

Кроме того, вентиляторы ШКУ также будут включены в реверсивный режим, т.е. будут способствовать выдаче воздуха по воздухоподающим стволам.

В системе проветривания предусмотрен также вариант возникновения аварийной ситуации в холодное время года, когда при реверсе ГВУ воздух будет поступать в ППП по вентиляционному стволу. Для исключения угрозы, связанной с подачей воздуха, температура которого будет ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, предложено оборудовать вентиляционный ствол ШКУ, включаемой при реверсе в холодное время года.

На период реверсирования ГВУ необходимо предусмотреть возможность защиты горнорабочих в добычных участках.

Наиболее возможным местом возникновения пожара в ППП является конвейерный штрек. При горении температура воздуха в нем начнет возрастать, что неизбежно приведет к увеличению естественной тяги, действующей между конвейерным и выемочным штреками. При отработке блоков по традиционной схеме дымовые газы за счет увеличивающейся естественной тяги начнут поступать в рабочие камеры. Подобная ситуация возникла на руднике БКПРУ-3 (г. Березники) в 1980 г., в результате чего погибло пять горнорабочих.

Для повышения энергоэффективности и безопасности разработан способ проветривания добычного участка, представленный на рисунке 12.

Свежая струя воздуха для проветривания выемочного участка подается из транспортного штрека в выемочный штрек. Действующие между вентиляционными и выемочным штреками естественные тяги h_{e2} и h_{e3} будут направлены навстречу потоку свежего воздуха и способствовать

его движению в рабочие камеры (см. рисунок 12). Однако на начальном этапе обработки блока естественные тяги малы по своей величине, и свежий воздух напрямую отправляется в конвейерно-вентиляционный штрек, минуя рабочие камеры. На конечном этапе обработки блока величина естественных тяг становится такой, что они рециркулируют загрязненный воздух в рабочие камеры.

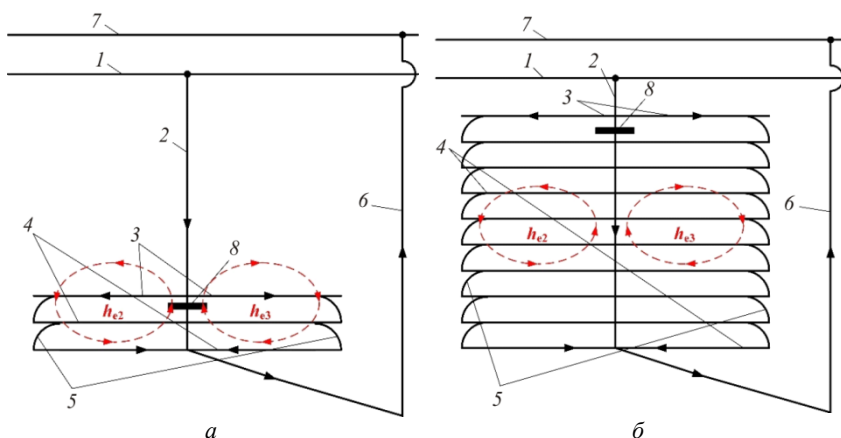


Рисунок 12 – Упрощенная схема проветривания выемочного участка по предлагаемому способу: *a* – начальный этап обработки; *б* – конечный этап обработки; 1 – транспортный штрек; 2 – выемочный штрек; 3 – рабочие камеры; 4 – отработанные камеры; 5 – вентиляционные сбойки; 6 – заглубленный конвейерно-вентиляционный штрек; 7 – вентиляционный штрек; 8 – шахтная вентиляционная перемычка

Для преграждения пути движения воздуха напрямую в конвейерно-вентиляционный штрек (см. рисунок 12, *a*) и рециркуляции загрязненного воздуха в рабочие камеры (см. рисунок 12, *б*) в выемочном штреке устанавливается переносная шахтная вентиляционная перемычка (ШВП). Исходящая струя воздуха удаляется по вентиляционным сбойкам, отработанным камерам в заглубленный конвейерно-вентиляционный штрек и далее в вентиляционный штрек.

В процессе увеличения количества отработанных камер и при достижении величины естественной тяги до значения, при котором она сможет направить поток воздуха в рабочие камеры, ШВП демонтируют. При достижении величины естественной тяги до значения, когда она будет реверсировать загрязненный воздух в рабочие камеры, ШВП устанавливают вновь.

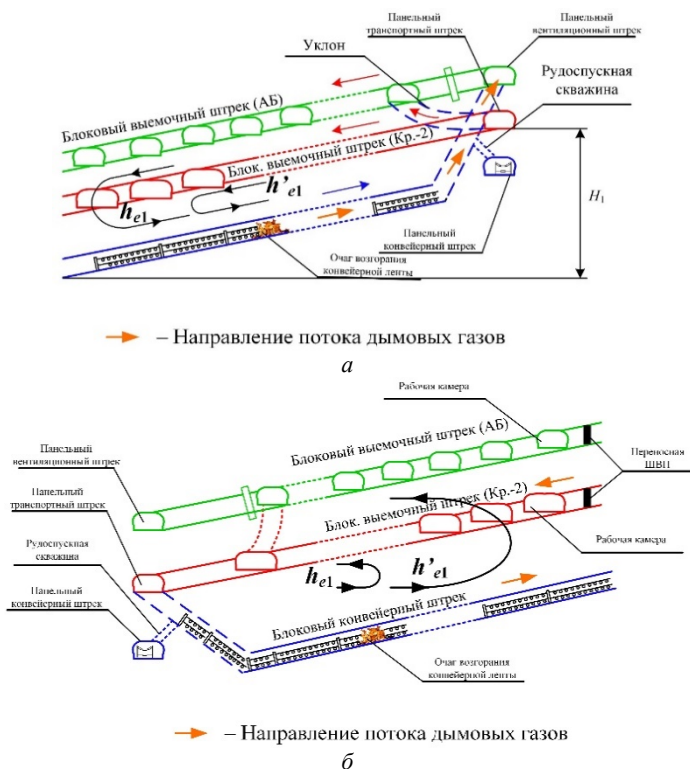


Рисунок 13 – Распространение дымовых газов: а – в блоке, расположенном по падению пласта; б – в блоке, расположенном по восстанию пласта

Если использовать конвейерный штрек в качестве вентиляционного в блоках, расположенных по падению пласта, в предлагаемой схеме проветривания при возникновении пожара в нем весь задымленный воздух будет удаляться в панельный вентиляционный штрек (рисунок 13, а). Но для блоков, расположенных по восстанию пласта, значения естественных тяг h_{el} и h'_{el} могут достигать величин, превышающих значение общешахтной депрессии. Это приведет к тому, что задымленный воздух из конвейерного штрека начнет поступать в рабочие камеры. Решить проблему можно, если оградить рабочую зону при помощи быстровозводимой ШВП (рисунок 13, б).

Следовательно, в обоих случаях, для повышения эффективности проветривания и обеспечения при этом безопасности в случае возникновения пожара необходимо использовать быстровозводимые ШВП.

Анализ существующих ШВП показал, что самыми эффективными, с точки зрения изоляционных свойств, являются воздушные (надувные) перемычки. Однако у этого типа ШВП есть существенные недостатки: длительность возведения (до 1,5 часа) и необходимость значительного объема воздуха (до 2000 литров).

Для устранения этих недостатков и сохранения достоинств воздушных перемычек на основании результатов компьютерного и математического моделирования разработана конструкция ШВП нового типа (для условий горных выработок калийных рудников, пройденных комбайном «Урал-20Р»).

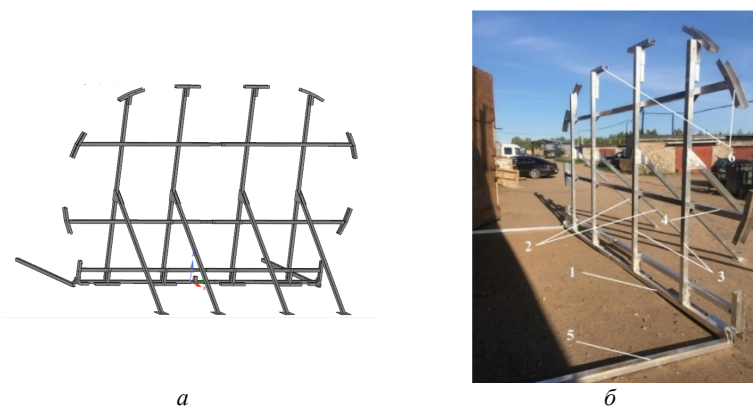


Рисунок 14 – Силовой каркас разработанной ШВП: *а* – конфигурация силового каркаса; *б* – опытный образец силового каркаса: 1 – основание; 2 – упоры; 3 – вертикальные стойки; 4 – горизонтальные стойки; 5 – лыжные салазки; 6 – пазы, выполненные по конфигурации выработки

По периметру силового каркаса ШВП (рисунок 14) располагается пневморукав, а сверху – противопожарное полотно (на рисунках показан только силовой каркас). При размещении ШВП в перекрываемом участке силовой каркас растягивается по сечению горной выработки, а пневморукав при его накачке воздухом плотно прижимает противопожарное полотно, расположенное сверху, к стенке, кровле и почве, т.е. надувается только место соприкосновения ШВП с горной выработкой, основное сечение которой перекрывается полотном.

В этом случае сечение горной выработки полностью перекрывается растянутым полотном, а изоляционные свойства обеспечиваются за счет пневморукава.

Испытания, проведенные на руднике БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий», подтвердили высокие изоляционные свойства предложенной конструкции ШВП. Возведенная конструкция ШВП приведена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Испытания разработанной ШВП: *а* – прижатие пневморукава к почве; *б* – прижатие пневморукава к стенке; *в* – внешний вид со стороны движения воздуха; *г* – внешний вид с обратной стороны движения воздуха

Разработанная ШВП может использоваться для возведения в горной выработке как для повышения эффективности проветривания добычных участков, так и для ограждения рабочей зоны от попадания в нее дымовых газов.

Кроме того, достоинством предложенной ШВП является то, что для накачки воздуха в пневморукав может использоваться всего один баллон со сжатым воздухом. Подобное обстоятельство позволит осуществлять возведение перемычки силами самих горнорабочих, не дожидаясь бойцов военизированной горноспасательной части (ВГСЧ), что существенно сократит время работ по обеспечению безопасности и снизит расход электроэнергии на проветривание с минимальными затратами времени для технологического процесса.

5. Возникновение между горными выработками естественных тяг, способствующих движению воздуха в требуемом направлении, а также ограждение горных участков, не предназначенных для проветривания, мобильными быстровозводимыми перемычками позволяет исключить выпадение конденсата в горных выработках неглубоких рудников при снижении затрат электроэнергии на работу системы кондиционирования воздуха (СКВ) до 12 %, обеспечить подачу свежего воздуха в рабочие камеры в требуемом объеме без применения дополнительных источников тяги и снизить температуру воздуха в буровой галерее нефтешахт до требуемой при снижении затрат на проветривание в пределах 17–23 %.

Существенной проблемой на ряде ПГП является повышенная температура воздуха в рабочей зоне. Например, для добычи высоковязкой нефти на Ярегском нефтетитановом месторождении (ООО «ЛУКОЙЛ-Коми») применяется уникальный термошахтный способ, при котором в продуктивный пласт закачивается перегретый пар. В результате этого температура в добычном участке может достигать значения 70 °С и выше.

Для снижения температуры воздуха в рабочей зоне в настоящее время широко применяются СКВ. Ввиду того что СКВ потребляет значительное количество электроэнергии, их использование ограничено.

По этой же причине (экономии) в неглубоких рудниках СКВ не применяются для осушения воздуха, что приводит к поступлению в горные выработки образующегося конденсата. Особенно негативные последствия этот процесс приносит соляным и калийным рудникам, в которых при контакте солей и влаги образуется электролит, вызывающий быстрое разрушение оборудования, расположенного в них. Например, при выпадении влаги на конвейерной линии возникает пробуксовка конвейерной ленты на барабанах, в результате чего появляется вероятность ее воспламенения.

Для неглубоких ПГП разработана подземно-поверхностная СКВ (рисунок 16).

При расположении испарителей СКВ в варианте: один на поверхности, другой – под землей, а также за счет «сброса» нагретого в конденсаторах СКВ воздуха в вентиляционный ствол, между стволами возникает положительная ОЕТ, значительная по своей величине, что позволяет снизить производительность ГВУ, уменьшив тем самым затраты электроэнергии на ее работу.

Для нефтяных шахт, особенностью которых является повышенное значение температуры в рабочей зоне, предложена система проветривания, приведенная на рисунках 17 и 18. Поддерживаться требуемая температура воздуха будет за счет СКВ, подающей в рабочую зону охлажденный воздух. В самой буровой галерее размещена теплоизоляционная перегородка, которая не позволит нагретому воздуху попасть в рабочую зону. Нагретый воздух будет удаляться на поверхность через скважину за

счет естественной тяги (см. рисунок 18). Кроме того, при «сбросе» нагретого в конденсаторе СКВ воздуха в участок между нагретой стенкой и теплоизоляционной перегородкой величина естественной тяги, способствующая проветриванию, будет возрастать.

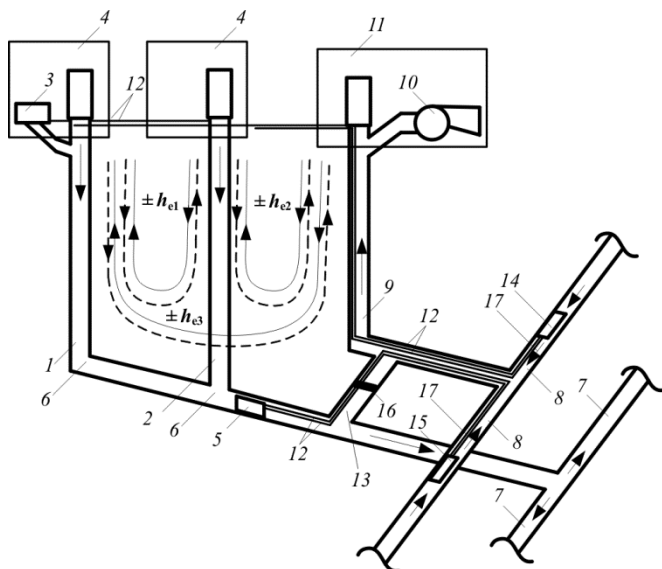


Рисунок 16 – Упрощенная схема проветривания рудника и расположение СКВ в нем: 1 – воздухоподающий ствол № 1; 2 – воздухоподающий ствол № 2; 3 – испаритель (воздухоохладитель) поверхностной СКВ; 4 – поверхностные комплексы воздухоподающих стволов; воздух, подаваемый в рудник; 5 – испаритель (воздухоохладитель) подземной СКВ; 6 – околоствольные дворы воздухоподающих стволов; 7 – выработки главных направлений; 8 – главные вентиляционные выработки, подходящие к вентиляционному стволу 9; 9 – вентиляционный ствол; 10 – ГВУ; 11 – поверхностный комплекс ГВУ; 12 – трубопровод с хладоносителем; 13 – соединительная выработка; 14 – конденсатор поверхностной СКВ; 15 – конденсатор подземной СКВ; 16 – вентиляционная дверь; 17 – воздух, нагретый в конденсаторах 14 и 15; h_{e1} – естественные тяги, действующие между шахтными стволами

Подобная система позволит снизить температуру воздуха в рабочей зоне до требуемого значения и снизить затраты электроэнергии на проветривание.

В рассмотренном случае может быть использована еще одна СКВ, которая будет охлаждать воздух непосредственно в буровой галерее (позиция 16 на рисунке 17). Тогда конденсатор указанной СКВ необходимо

располагать в устье вентиляционной скважины (см. рисунок 18). При «сбросе» теплого воздуха из него естественная тяга будет усиливаться, а следовательно, будет увеличиваться объемный расход свежего воздуха, поступающего в уклонный блок.

На поверхности исходящий нагретый воздух будет поступать в тепловой насос. В результате использования низкопотенциальной энергии исходящего воздуха появляется дополнительный источник тепловой энергии и снижается негативное влияние его на окружающую среду.

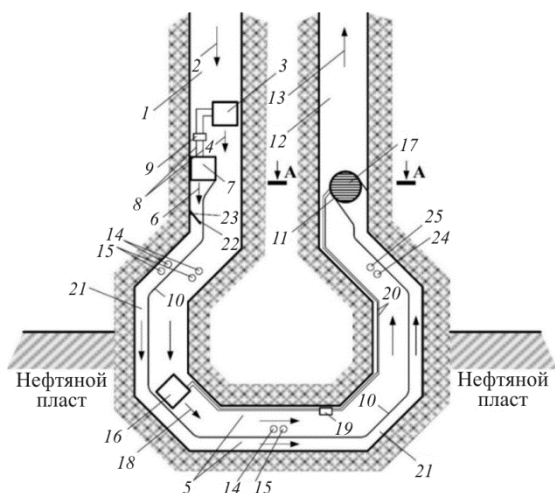


Рисунок 17 – Способ проветривания уклонного блока нефтешахты (вид сверху): 1 – воздухоподающая выработка уклонного блока; 2 – свежий воздух; 3 – испаритель первой системы кондиционирования воздуха; 4 – охлажденный воздух; 5 – буровая галерея; 6 – нагретый воздух; 7 – конденсатор первой системы кондиционирования воздуха; 8 – трубопровод с хладоносителем; 9 – регулирующее устройство в трубопроводе; 10 – теплоизолирующая перегородка; 11 – вентиляционная скважина; 12 – воздухоподающая выработка; 13 – исходящий воздух; 14 – датчик температуры воздуха, установленный в воздухоподающей выработке; 15 – датчик расхода воздуха, установленный в воздухоподающей выработке; 16 – испаритель второй системы кондиционирования воздуха; 17 – конденсатор второй системы кондиционирования воздуха; 18 – охлажденный в испарителе 16 воздух; 19 – регулирующее устройство в трубопроводе с хладоносителем; 20 – трубопровод с хладоносителем; 21 – участок между нефтяным пластом и теплоизолирующей перегородкой; 22 – управляемая шиловая заслонка; 23 – устройство управления заслонкой; 24 – датчик температуры воздуха, установленный в воздухоподающей выработке; 25 – датчик расхода воздуха, установленный в воздухоподающей выработке

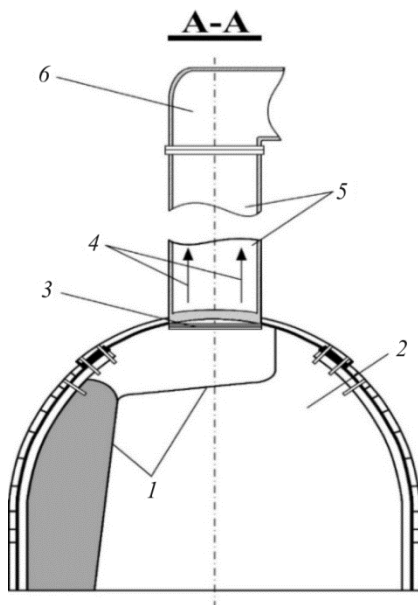


Рисунок 18 – Предлагаемый способ проветривания уклонного блока нефтешахты (разрез по вентиляционной скважине): 1 – теплоизоляционная перегородка; 2 – воздуховыдающая выработка; 3 – конденсатор второй системы кондиционирования воздуха; 4 – нагретый воздух; 5 – вентиляционная скважина; 6 – вентиляционная труба

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований разработаны и научно обоснованы технические и технологические решения, обеспечивающие промышленную и пожарную безопасность в нормальном и аварийном режимах проветривания подземных предприятий горнорудной отрасли путем энергоэффективного проветривания и имеющие важное хозяйственное значение для экономики страны.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем:

1. Разработана методика определения величины и направления общерудничной естественной тяги по данным измерений только на ГВУ, в которой исключено влияние на результаты инерционности системы проветрива-

ния и учтено действие случайных факторов, также позволяющая определить аэродинамическое сопротивление подземного горного предприятия, в результате чего можно заранее с заданной доверительной вероятностью спрогнозировать объемный расход поступающего в воздухоподающие стволы воздуха при известных по метеорологическому прогнозу его параметрах и установить оптимальные с точки зрения безопасности и энергопотребления режимы работы ГВУ и системы воздухоподготовки.

2. Методами математического моделирования подтверждено, что при воздухоподготовке из-за инфильтрации холодного наружного воздуха через надшахтное здание и армирования воздухоподающих стволов в них наблюдается неравномерный прогрев воздуха по сечению и глубине, возникают сообщающиеся между собой «потoki» воздуха с различной плотностью, что становится причиной действия в стволах «внутристволовой естественной тяги». Установлено, что изменение температуры воздуха на выходе из ШКУ и регулирование режимов ее работы не может решить проблему равномерности прогрева воздуха в воздухоподающих стволах. Возникающие в этом случае «воздушные пробки» при существующих способах воздухоподготовки преграждают путь движению воздуха по одному (или нескольким) воздухоподающему стволу и способствуют поступлению по другому (другим) движению в объеме, большем, чем способна нагревать система воздухоподготовки. В результате этого в воздухоподающих стволах нарушается температурный режим и возникает угроза выхода из строя ШКУ.

3. Для осуществления воздухоподготовки в режиме равномерного прогрева воздуха по сечению и глубине воздухоподающего ствола, исключающем возникновение «воздушных пробок», а также для снижения при этом затрат энергоресурсов предложены и детально рассмотрены методами компьютерного моделирования следующие технические и технологические решения:

- для увеличения площади поверхности теплообмена выполнять нагревательные элементы в виде пластин, расположенных в калориферном канале по ходу движения воздуха, что исключит необходимость дополнительного места на промплощадке, а нагреваемый ими воздух перемешивать вентилятором, расположенным за пластинами, и нагнетать его в воздухоподающий ствол;

- для сокращения инфильтраций холодного наружного воздуха в воздухоподающем стволе установить выше калориферного канала воздушную завесу, направляющую воздух навстречу подсосываемому через надшахтное здание;

- избавиться в системе воздухоподготовки от калориферного канала, расположив теплообменники по периметру надшахтного здания;

– в осенне-весенний периоды, когда температура воздуха близка к установленным правилами безопасности +2 °С, для исключения «перегрева» воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы, а также с целью сокращения затрат энергетических ресурсов на воздухоподготовку для нагрева теплоносителя, поступающего в ШКУ, использовать низкопотенциальное тепло дымовых газов котельной установки, обязательно присутствующей на подземном горном предприятии.

4. С целью повышения эффективности проветривания, энерго- и ресурсосбережения процесса проветривания в нормальном режиме работы подземного горного предприятия, а также для повышения уровня безопасности в случае возникновения нештатной ситуации предложены следующие технические и технологические решения:

– разработаны способы проветривания добычных участков калийных рудников, позволяющие снабжать рабочую зону свежим воздухом в энергосберегающем режиме и при возникновении пожара обеспечить удаление дымовых газов из области ведения горных работ;

– разработана автоматизированная система проветривания, осуществляющая рециркуляцию воздуха в нормальном режиме, на начальном этапе перекрывающая при помощи автоматических вентиляционных дверей, расположенных в выработках главных направлений, путь поступления свежего воздуха в выработанное пространство, начинающее играть роль источника тяги, снижая тем самым время на реверсирование струи воздуха в руднике при возникновении нештатной ситуации;

– разработана конструкция шахтной вентиляционной перемычки, позволяющей быстро и надежно изолировать горный участок от попадания в него «излишков» воздуха (с целью энергосбережения) и дымовых газов (при возникновении пожара);

– предложено установить на вентиляционном стволе электрическую ШКУ для возможности осуществления реверса ГВУ в холодное время года.

5. Для нормализации условий труда в нефтяных шахтах, а также для предотвращения проблем, связанных с выпадением влаги в неглубоких (особенно соляных) рудниках, предложены следующие технические и технологические решения:

– разработана система кондиционирования воздуха подземно-поверхностного типа для неглубоких рудников и шахт, позволяющая снизить затраты электроэнергии на работу ГВУ, а следовательно, снизить энергоемкость процесса воздухоподготовки;

– разработаны способы проветривания добычных участков нефтешахт, позволяющие нормализовать условия труда горнорабочих.

**СПИСОК РАБОТ,
опубликованных автором по теме диссертации,
публикации в изданиях, утвержденных
Высшей аттестационной комиссией**

1. Николаев, А.В. Анализ теоретической формулы, определяющей величину естественной тяги между воздухоподающим и вентиляционным стволами / А.В. Николаев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 10. – С. 72–75.
2. Алыменко, Н.И. О влиянии взаимного расположения шахтных стволов на величину возникающих между ними тепловых депрессий / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 83–90.
3. Николаев, А.В. Применение системы кондиционирования воздуха с учетом тепловых депрессий, действующих между стволами / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 12. – С. 12–5.
4. Николаев, А.В. Метод расчета величины общерудничной естественной тяги / А.В. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2011. – № S-2-2. – С. 12–17.
5. Алыменко, Н.И. Расчет общерудничной естественной тяги / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2011. – № S-2-2. – С. 18–26.
6. Николаев, А.В. Расчет величины тепловой депрессии, возникающей при работе калориферной установки / А.В. Николаев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 27–33.
7. Николаев, А.В. Система кондиционирования шахтного воздуха комбинированного поверхностно-подземного типа / А.В. Николаев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 40–45.
8. Николаев, А.В. Интенсификация теплообмена в шахтной калориферной установке / А.В. Николаев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 11. – С. 10–13.
9. Николаев, А.В. Автоматизированная ресурсо- и энергосберегающая система воздухоподготовки шахтного воздуха / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 11. – С. 14–18.
10. Николаев, А.В. Расчет величины тепловых депрессий, действующих между стволами, и общерудничной естественной тяги при работе систем предварительной подготовки воздуха / А.В. Николаев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 26–35.

11. Результаты математического моделирования смешивания холодного и теплого потоков воздуха в воздухоподающем стволе рудника / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, А.А. Каменских, А.И. Петров // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 12. – С. 31–33.
12. Николаев, А.В. Система кондиционирования шахтного воздуха / А.В. Николаев // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 12. – С. 34–39.
13. Расчет теплопроизводительности шахтной калориферной установки, расположенной в калориферном канале, и затрачиваемой на ее работу электроэнергии / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, Г.З. Файнбург, А.М. Седунин, В.А. Николаев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 105–112.
14. Николаев, А.В. Вариант применения системы кондиционирования воздуха в неглубоких подземных горнодобывающих предприятиях / А.В. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 13. – С. 93–98.
15. Повышение эффективности подземной добычи нефти термощахтным способом / Д.Г. Закиров, Р.А. Файзрахманов, А.В. Николаев, Н.Ф. Шаякбаров // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 58–60.
16. Алыменко, Н.И. Способ проветривания выемочного участка калийного рудника при обратном порядке отработки / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2015. – № 2. – С. 228–234.
17. Анализ работы системы воздухоподготовки на руднике БКПРУ-2 / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин, Г.З. Файнбург, В.А. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2015. – № 2. – С. 255–265.
18. Николаев, А.В. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок нефтешахт / А.В. Николаев, Г.З. Файнбург // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 92–98.
19. Алыменко, Н.И. Вариант расположения шахтной калориферной установки в стене надшахтного здания / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, А.А. Каменских // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 2. – С. 99–106.
20. Лялькина, Г.Б. Определение величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью / Г.Б. Лялькина, А.В. Николаев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 2. – С. 124–129.

21. Николаев, А.В. Автоматизация процесса воздухоподготовки на подземных горнодобывающих предприятиях / А.В. Николаев // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 1. – С. 19–24.

22. Об эффективности работы шахтной калориферной установки, расположенной по периметру надшахтного здания / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, В.А. Николаев, А.А. Каменских // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т. 15, № 18. – С. 91–98.

23. Николаев, А.В. Способ раздельного проветривания уклонных блоков и подземных горных выработок нефтяной шахты / А.В. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т. 15, № 20. – С. 293–300.

24. Сажин Р.А. Технологические аспекты автоматизации процесса воздухоподготовки на подземных горнодобывающих предприятиях / Р.А. Сажин, А.В. Николаев // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 9 – С. 23–28.

25. Николаев, А.В. Способ проветривания уклонных блоков нефтешахт, повышающий энергоэффективность подземной добычи нефти / А.В. Николаев // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 11. – С. 133–136.

26. Николаев, А.В. Энергоэффективное кондиционирование шахтного воздуха в неглубоких рудниках / А.В. Николаев // Горный журнал. – 2017. – № 3. – С. 71–74.

27. Николаев, А.В. Система нагрева воды, подаваемой в шахтную калориферную установку / А.В. Николаев, А.И. Цаплин // Горный журнал. – 2017. – № 6. – С. 83–85.

28. Николаев, А.В. Способ нормализации условий труда в буровой галерее нефтяной шахты / А.В. Николаев // Безопасность жизнедеятельности. – 2017. – № 7 (199). – С. 3–8.

29. Николаев, А.В. Управление процессом проветривания уклонных блоков нефтяной шахты в автоматизированном энергосберегающем режиме / А.В. Николаев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2017. – № 9. – С. 4–10.

30. Результаты моделирования процесса проветривания рудника при расположении воздушной завесы в воздухоподающем и вентиляционном стволах / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.А. Каменских, Ш.К. Фет, В.А. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 291–300.

31. Обеспечение безопасности и энергоэффективности при проветривании шахт и рудников, использующих систему рециркуляции воздуха /

А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, М. Чехлар, Ю. Яночко, Д.Н. Алыменко, В.А. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 370–377.

32. Николаев, А.В. Автоматизированная система подачи воды, нагреваемой дымовыми газами котельной установки, в шахтную калориферную установку за счет тепла дымовых газов / А.В. Николаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 6. – С. 133–141.

33. Лялькина, Г.Б. Методика расчета величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью / Г.Б. Лялькина, А.В. Николаев, Н.С. Макарычев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 181–188.

34. Лялькина, Г.Б. Статистический анализ эксперимента по управлению работой главной вентиляторной установки рудника / Г.Б. Лялькина, А.В. Николаев, Н.С. Макарычев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 6 (200). – С. 131–137.

35. Расчет параметров шахтной вентиляционной переемычки нового типа / А.В. Николаев, П.В. Максимов, Р.Н. Газизуллин, А.Г. Тимаров // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 4. – С. 16–24.

36. Николаев, А.В. Управление системой проветривания подземных горнодобывающих предприятий в аварийных ситуациях / А.В. Николаев, Г.Б. Лялькина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 5. – С. 37–46.

Список публикаций, индексируемых международными базами данных

1. Alymenko, N.I., Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts / N.I. Alymenko, A.V. Nikolaev // Journal of Mining Science. – 2011. – Vol. 47, № 5. – С. 636–642.

2. Lyal'kina, G.B. Natural draught and its direction in a mine at the pre-set confidence coefficient / G.B. Lyal'kina, A.V. Nikolaev // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 342–346.

3. Numerical modeling of heat and mass transfer during hot and cool air mixing in air supply shaft in underground mine / N.I. Alymenko, A.A. Kamenskikh, A.V. Nikolaev, A.I. Petrov // Eurasian Mining. – 2016. – № 2. – P. 45–47.

4. Factors defining value and direction of thermal drop between mine shafts and impact of general mine natural draft on ventilation process of underground mining companies / A.V. Nikolaev, N.I. Alymenko, A.A. Kamens-

kikh, V.A. Nikolaev, D.N. Alymenko, A.I. Petrov // Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017): proceedings of the Intern. Conf., Tomsk, 27–29 July, 2017 / Tomsk Polytechnic University. – Paris; Amsterdam; Hong Kong: Atlantis Press, 2017. – P. 561–566.

5. Ejector fan installations used in mines of Russia / N.I. Alymenko, A.V. Nikolaev, A.A. Kamenskikh, A.I. Petrov // Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017): proceedings of the Intern. Conf., Tomsk, 27–29 July, 2017 / Tomsk Polytechnic University. – Paris; Amsterdam; Hong Kong: Atlantis Press, 2017. – P. 54–60.

6. The results of air treatment process modeling at the location of the air curtain in the air suppliers and ventilation shafts / A. Nikolaev, N. Alymenko, A. Kamenskikh, V. Nikolaev // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 15: The 1st Scientific Practical Conference International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza): proceedings. – P. 7.

7. Nikolaev, A. Modeling of Energy-saving System of Conditioning Mine Air for Shallow Underground Mines / A. Nikolaev, T. Miftakhov, E. Nikolaeva // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21: II-nd International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment), Kemerovo, November 20–22. – Kemerovo, 2017. – P. 6.

8. Lyal'kina, G.B. Creation of the Information System Based on Experimental Data for Control of the MMF Operating Modes to Improve the Efficiency of Ventilation in Mines / G.B. Lyal'kina, A.V. Nikolaev, N.S. Makarychev // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1059 – Art. 012013. – P. 8.

9. Nikolaev, A.V. Testing a new type of mine brattice and its applications in production units / A.V. Nikolaev, V.I. Klishin, P.V. Maksimov // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 177: XVIIIInd International Innovative Forum (Ural mining decade): Ekaterinburg, June. – Ekaterinburg, 2020 – P. 7.

Патенты на изобретения

1. Шахтная вентиляционная перемышка: пат. 116575 Рос. Федерация: МПК E21F17/107 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 201200720/03 заявл.11.01.2012; опубл.27.05.2012, Бюл. № 15.

2. Шахтная калориферная установка: пат. 122698 Рос. Федерация: МПК E21F1/08 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А., Земсков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2012129273/03 заявл.10.07.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34.

3. Система автоматизации главной вентиляторной установки: пат. 131083 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ЭНЕРГОСЕРВИС». – № 2013112380/03 заявл.19.03.2013; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

4. Шахтная калориферная установка: пат. 133877 Рос. Федерация: МПК E21F1/08; F24H/3/04 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М., Николаев В.А., Файнбург Г.З.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ЭНЕРГОСЕРВИС». – № 2013115777/03 заявл.08.04.2013; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

5. Система проветривания неглубокого рудника: пат. 140553 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013154241/03 заявл.05.12.2013; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.

6. Шахтная калориферная установка: пат. 141759 Рос. Федерация: МПК E21F1/08; E21F3/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А., Седунин А.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013149747/03 заявл.06.11.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

7. Шахтная калориферная установка: пат. 142085 Рос. Федерация: МПК E21F1/00; E21F3/00; F24H/3/04 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М., Лялькина Г.Б., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ЭНЕРГОСЕРВИС». – № 2013150970/03 заявл. 15.11.2013; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.

8. Способ проветривания выемочного участка при обратном порядке отработки: пат. 2529459 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Земсков А.Н., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013132295/03 заявл.11.07.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.

9. Способ управления работой главной вентиляторной установки при проветривании шахт: пат. 2537427 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Лялькина Г.Б., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013146460/03 заявл. 17.10.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

10. Шахтная калориферная установка: пат. 149443 Рос. Федерация: МПК E21F3/00; F24H/3/04 / Николаев А.В., Файнбург Г.З., Алыменко Н.И., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2014124875/03 заявл. 18.06.2014; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

11. Система подогрева воды, подаваемой потребителю: пат. 2557156 Рос. Федерация: МПК F24D 19/10 / Николаев А.В., Цаплин А.И., Алыменко Н.И., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2014118663/06 заявл. 07.05.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

12. Система регулирования воздухоподготовки на подземном горнодобывающем предприятии: пат. 2566546 Рос. Федерация: МПК E21F1/08; E21F3/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2014138291/03 заявл. 22.09.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.

13. Способ проветривания выемочного участка при обратном порядке отработки полезного ископаемого, расположенного по падению пласта: пат. 2569647 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2014146542/03 заявл. 19.11.2014; опубл. 27.11.2015, Бюл. № 33.

14. Система автоматизации главной вентиляторной установки: пат. 2574098 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2014100104/03 заявл. 09.01.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

15. Система проветривания нефтешахты: пат. 2582145 Рос. Федерация: МПК E21F1/08 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2015112488/03 заявл. 06.04.2015; опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11.

16. Способ проветривания подземного горнодобывающего предприятия: пат. 2601342 Рос. Федерация: МПК E21F1/08; E21F3/00 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Николаев В.А., Каменских А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2015140487/03; заявл. 22.09.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31.

17. Теплоизоляционный трубопровод: пат. 171453 Рос. Федерация: МПК F16L59/06 / Николаев А.В., Николаев В.А., Алыменко Н.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2016138626; заявл. 29.09.2016; опубл. 01.06.2017, Бюл. № 16.

18. Шахтная калориферная установка: пат. 2630838 Рос. Федерация: МПК E21F1/08, E21F3/00 / Николаев А.В., Максимов П.В., Алымен-

ко Н.И., Фетисов К.В., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2016135150; заявл. 29.08.2016; опубл. 13.09.2017, Бюл. № 26.

19. Система проветривания уклонного блока нефтешахты: пат. 2642893 Рос. Федерация: МПК E21F1/00 / Николаев А.В., Закиров Д.Г., Алыменко Н.И., Николаев В.А., Мухамедшин М.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН). – № 2016134665; заявл. 24.08.2016; опубл. 29.01.2018, Бюл. № 4.

20. Система проветривания уклонного блока нефтешахты: пат. 2652769 Рос. Федерация: МПК E21F1/08 / Николаев А.В., Николаев В.А., Алыменко Н.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2017121093; заявл. 15.06.2017; опубл. 28.04.2018, Бюл. № 13.

Подписано в печать 25.09.2020. Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 2,0. Формат 60×90/16. Заказ № 37-1/2020.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел.: (342) 219-80-33