

Разработка шахтных воздухонагревательных установок нового типа

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-5-54-61>

ПУЗЫРЕВ Е.М.

Доктор техн. наук,
заместитель директора
по научной работе
ООО «ПроЭнергоМаш-Проект».
656905, г. Барнаул, Россия,
e-mail: pem-energo@list.ru



АФАНАСЬЕВ К.С.

Заместитель директора
по проектированию
ООО «ПроЭнергоМаш-Проект».
656905, г. Барнаул, Россия,
e-mail: pro-energo@list.ru



ГОЛУБЕВ В.А.

Канд. техн. наук,
руководитель группы
ООО «ПроЭнергоМаш-Проект».
656905, г. Барнаул, Россия,
e-mail: wadon@ya.ru



Для справки.

Компания «ПроЭнергоМаш» специализируется на проектировании и производстве паровых и водогрейных котельных на основе котлов с низкотемпературными вихревыми топками «Торнадо» на различных видах топлива и отходах производства; воздухонагревательных установок для обогрева

помещений и вентиляционного воздуха в угольных шахтах и рудниках; блочно-модульных котельных установок; эффективных систем золоулавливания.

Компанией разрабатываются новые уникальные технологии и котельное оборудование под решение конкретных задач от момента выявления потребности до запуска под ключ с полным комплексом проектных, строительных, монтажных и пусконаладочных работ.

ООО «ПроЭнергоМаш-Проект»

656905, г. Барнаул, пр. Южный, д.17А
Тел.: +7 (3852) 505-135; +7 (964) 080-5115
e-mail: td@pem-energo.ru
WWW.PEM-ENERGO.RU

Разработка угольных месторождений шахтным способом связана с опасностью взрывов. Это требует интенсивной вентиляции для вымывания метана до взрывобезопасной концентрации. Во введении рассмотрены особенности выделения метана, в том числе из закрытых шахт, и технологии вентиляции с контролем теплового режима шахт в странах зарубежья. Дан прогноз добычи и использования угля с учетом экологических требований. В основной части статьи дана классификация воздухонагревательных установок (ВНУ), применяемых в России. Основными типами здесь являются ВНУ с калориферами на антифризе и ВНУ с прямым подогревом воздуха в воздухоподогревателе. Оба типа ВНУ для получения энергии на подогрев воздуха используют сжигание угля. Отмечены недостатки и показаны направления совершенствования ВНУ. Рассмотрены новые принципы работы, характеристики и преимущества ВНУ, разработанных и производимых компанией «ПроЭнергоМаш». Они основаны на низкотемпературном сжигании углей и угле-содержащих отходов по технологии «Торнадо». Котлы и теплогенераторы с топками «Торнадо» имеют малую эмиссию вредных выбросов, надежны и экономичны.

Ключевые слова: шахта, метан, вентиляция, экология, экономичность, котлы, теплогенераторы, калориферы, антифриз, вихревая топка.

Для цитирования: Пузырев Е.М., Афанасьев К.С., Голубев В.А. Разработка шахтных воздухонагревательных установок нового типа // Уголь. 2021. № 5. С. 54-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-54-61.

ВВЕДЕНИЕ

Аварии на угольных шахтах происходят в результате взрывов метановоздушной смеси. В обзорной статье [1] дан неутешительный прогноз роста глобальных выбросов метана при различных сценариях добычи угля, основанный на конкретных измерениях. При оценках учитывались увеличение глубины шахт, установленные факты занижения объемов выбросов, а также постепенный рост выбросов из заброшенных угольных шахт. Согласно работе [1], к 2100 г. выбросы метана из действующих подземных шахт увеличатся в четыре раза, а выбросы из заброшенных шахт продолжатся в течение столетия. Конечно, в связи с поли-

тикой экологического сдерживания развивающихся стран эти данные требуют проверки, но при обоснованности данных их необходимо учитывать. Метан относится к числу наиболее активных парниковых газов, он способствует изменениям климата, что представляет угрозу. Использование дегазации угольных шахт перед их разработкой с последующей добычей метана из оставленных выработок наиболее правильно, но этот способ сегодня очень дорогой.

Сегодня обычно [2] применяется простая технология – эффективная вентиляция шахт путем подачи свежего атмосферного воздуха с вымыванием метана до взрывобезопасной концентрации. При этом зимой должно быть исключено образование тумана и наледи, что возможно при положительных температурах вентиляционного воздуха, не ниже +2°C. Также необходимо исключить интенсивную оттайку пород в действующих в вечной мерзлоте выработках [3].

В общем случае вопрос вентиляции сопряжен с регулированием и обеспечением температурного режима рудников и шахт, их кондиционированием, особенно при наличии глубоких горизонтов [3, 4]. Системы регулирования теплового режима разделяются [3] на обратимые и необратимые. В обратимых, сложных, но более эффективных системах подогрев воздуха зимой и его охлаждение летом осуществляются одним и тем же комплексом оборудования на основе тепловых насосов. В статье [4] для шахт глубиной 2-3 км и более рассмотрены вопросы упрощения применяемого оборудования. На входе воздуха установлена шахтная система отопления с закрытой камерой и применяется обогрев поступающего холодного воздуха газовыми горелками. На глубоких горизонтах используются горизонтальные объемные кондиционеры с системами распылительного охлаждения водой, которая циркулирует и охлаждается в холодильных установках. Переход к естественным процессам охлаждения/нагрева циркулирующей воды для нагрева шахтного воздуха на поверхности и охлажденной воды для охлаждения в подземных насыпных воздухоохладителях дает [4] заметный экономический эффект, но из-за большого перепада гидростатического давления в контуре циркуляции, около 10 МПа/км, система должна иметь повышенную надежность.

В работе [5] рассмотрена, как и для условий Канады, эффективность использования теплоты выхлопа и охлаждения дизель-генераторов, достигающая 70% общей теплоты сгорания солярки, для подогрева вентиляционного воздуха от -40°C до примерно +3°C. При этом электрогенераторы обеспечивают шахту независимой электроэнергией, что важно при освоении удаленных угольных месторождений, и не требуют крупногабаритных воздухонагревателей, работающих на дизельном топливе или тяжелой нефти с большим углеродным следом. Предложенная система дает около 75% тепла, нужного для нагрева вентиляционного воздуха, и была рассмотрена для трех различных по климатическим условиям локационных сценариев. Она эффективна с экономией до 6,7 млн канадских дол. в год, периодом окупаемости не более 11 мес. и может применяться в России.

Следует отметить, что в большинстве стран, в том числе лидирующих по добыче угля: Китае, США, Индии, Австралии и других, более теплый климат и глубокие шахты. Они озабочены не подогревом, а более сложной задачей – экономичным охлаждением вентиляционного воздуха, в том

числе [4, 6] с использованием льда и других природных источников холода.

Другой важный вопрос – растущее давление защитников окружающей среды. Китай инициирует проект «Техническая революция в экологической и эффективной добыче и утилизации угля, разведке и разнообразной координации угольной энергетической системы» [7]. Выдвигаются три этапа (3.0, 4.0 и 5.0) стратегии развития угольной промышленности, направленные на сокращение персонала, сверхнизкий экологический ущерб и уровень выбросов, близкий к природному газу. На этапе 3.0 до 2025 г. должны быть достигнуты прорывы в трех ключевых технологиях: интеллектуальная добыча угля, экологичность горнодобывающей промышленности, сверхнизкие выбросы и охрана окружающей среды. Далее планируется переход от традиционной угольной энергетики к чистой энергии с выбросами на уровне сжигания природного газа и с захоронением CO₂.

Инновационные технологии и пути повышения экономической эффективности угледобычи разрабатываются и в России. Например, в работе [8] предложена технология утилизации шахтного метана с получением сжиженного метана для замены газомоторного топлива в когенерационных установках. Можно заменить дизельное топливо метаном с выработкой электрической и тепловой энергии по схеме [5] с обогревом вентиляционного воздуха и потребителей, причем не только при работе шахт, но и после их консервации с отоплением домов и подавлением эмиссии метана [1]. Положительной особенностью схемы замены солярки в дизель-генераторе на газ является [8] снижение вредных выбросов: CO – в 5-10 раз, NO_x – в 1,5-2,5 раза, полиароматических углеводородов в 10 раз, углеводородов – в 3 раза, дымности – в 8-10 раз, что соответствует общим планам [7].

Для условий России характерны длительная холодная зима, неглубокие горизонты шахт, и для вентиляции достаточно иметь воздухонагревательные установки (ВНУ). В соответствии с увеличением мощности угледобычи в новых шахтах тепловая мощность современных ВНУ составляет от нескольких до десятков мегаватт, и ее обеспечивают за счет сжигания топлива, обычно угля.

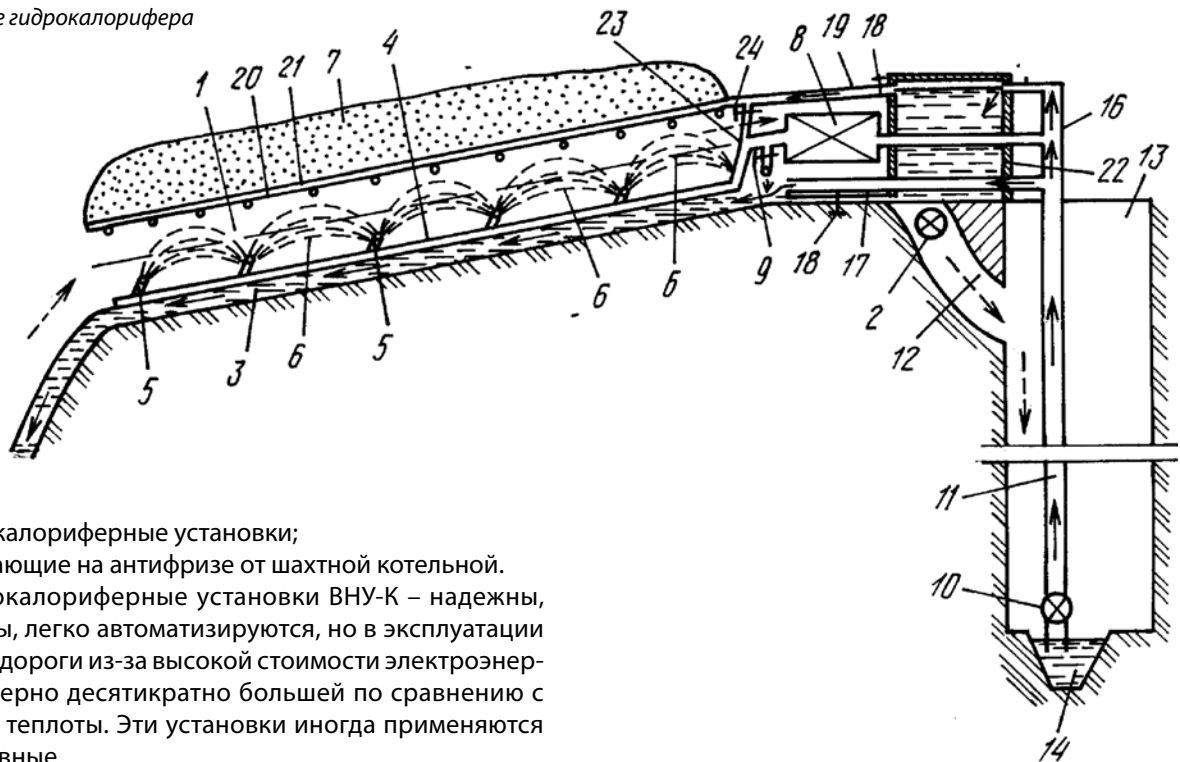
КЛАССИФИКАЦИЯ, АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТИПОВ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В классификации ВНУ выделяются две группы установок. Во-первых, это ВНУ-К – калориферные ВНУ с калориферами, расположенными в вентиляционной камере на входе в вентиляционный канал или в ствол шахты. Во-вторых, это ВНУ-ВП – интенсивно развивающаяся технология с воздухоподогревателем (ВП). Прямой нагрев части воздуха до 300-400°C и его подмешивание в основной поток воздуха.

Среди ВНУ по используемому теплу и теплоносителям можно выделить следующие типы калориферных ВНУ (ВНУ-К):

- работающие на паре или горячей воде от ТЭЦ или шахтной котельной;
- электрокалориферные установки;
- работающие на термальных водах и горячей воде глубоких скважин;

Рис.1. Схема ВНУ-К
на основе гидрокалорифера



- гидрокалориферные установки;
- работающие на антифризе от шахтной котельной.

Электрокалориферные установки ВНУ-К – надежны, компактны, легко автоматизируются, но в эксплуатации наиболее дороги из-за высокой стоимости электроэнергии, примерно десятикратно большей по сравнению с единицей теплоты. Эти установки иногда применяются как резервные.

ТЭЦ и паровые котельные с использованием пара в качестве теплоносителя ранее применялись достаточно широко. Сегодня в качестве теплоносителя пар почти не применяется из-за больших диаметров паропроводов, сложности сбора, возврата и отделения конденсата от пара. На ТЭЦ, на паровых и водогрейных котельных применяются двухконтурные схемы с горячей водой в качестве подаваемого по теплотрассе теплоносителя [2]. По опыту шахты «Большевик», г. Новокузнецк, ТЭЦ и водогрейные котельные являются ненадежными поставщиками тепловой энергии. В морозы из-за предпочтительного теплоснабжения населения и заметного снижения температуры теплоносителя отмечены частые замерзания оребренных трубок калориферов. Соответственно, предпочтение было отдано строительству ВНУ-К с шахтной котельной и калориферной установкой, работающих на антифризе, современном, безопасном.

Термальные подземные воды как источник тепла используются в Исландии, Италии, но для России, исключая полуостров Камчатку, это скорее экзотика. Более широко распространены гидрокалориферные установки (рис. 1), что отражено в патентах РФ №1460330, №2029873 и других. Холодный вентиляционный воздух по траншее 1 вентилятором 2 подается через вентиляционный канал 12 в ствол шахты 13. Встречно этому потоку по каналу 3 сливается откачиваемая насосом 10 по водопроводу 11 из шахты теплая вода. Часть шахтной воды подается через гидрокалорифер 8 и далее по трубопроводу 4 с разбрызгиванием форсунками 5 фонтанов 6. Капли воды охлаждаются, замерзают с выделением теплоты фазового перехода, и льдинки сливаются водой по каналу 3.

В итоге вентиляционный воздух нагревается по наиболее эффективной противоточной схеме с финишным подогревом в гидрокалорифере 8. Подобная технология также используется при устройстве шахт на берегу водое-

мов. Насосом подается и разбрызгивается речная вода, а охлажденная вода и образующийся лед сбрасываются в реку. Такие установки [1] в 1953 г. были испытаны на шахте «Красная» Качкарского рудоуправления на р. Урал, а в 1963 г. – на шахте «Южная-Вентиляционная» рудника им. Кирова в Криворожье.

В обоих случаях отмечается, что подогрев воздуха в гидрокалориферных установках экологически чист, экономичен, без затрат внешней тепловой энергии, надежен, требует примерно вдвое меньших капитальных и эксплуатационных затрат. Подогрев воздуха в калориферах является «сухим». При подогреве его влагосодержание не изменяется, но относительная влажность резко падает, что приводит к испарению влаги и далее к охлаждению вентиляционной струи и повышенному пылеобразованию в сухих выработках. Гидрокалориферные установки, дающие увлажненный вентиляционный воздух, свободны от этого недостатка.

Установки, работающие от шахтной котельной на антифризе, ВНУ-К, появились около 30 лет назад, но из-за аварий и серьезных последствий, связанных с неблагоприятными свойствами первого поколения антифризов, были запрещены. Первая разработанная и поставленная компанией «ПроЭнергоМаш» калориферная установка ВНУ-К нового типа с тремя котлами КВа-5ШпВТ, работающая на антифризе «Hot Blood», современном, безопасном была установлена в 2006 г. на шахте «Большевик». Установка ВНУ-К защищена патентами РФ №№. 2345292, 86283 и др. Она успешно действует, и показала высокую экономическую, экологическую и эксплуатационную эффективность [9]. Расчет ВНУ, выбор калориферов, насосов, вентиляторов ведутся по общим методикам, включая тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты системы и котлов, но с учетом свойств антифриза [9] при его применении.

Антифриз «Hot Blood-65M» – 65%-ный водный раствор этиленгликоля и 4% ингибиторов коррозии с высокой температурой кипения (198°C) – удовлетворяет требованиям ГОСТ 28084-89 «Жидкости охлаждающие низкотемпературные», требованиям Американского стандарта ASTM D 1384-80, успешно прошел государственные испытания в системе Госстандарта России, имеет гигиенический сертификат и разрешен для использования в системах кондиционирования и отопления.

Вторая технология – это ВНУ с воздухоподогревателем (ВП) типа ВНУ-ВП, с прямым нагревом части вентиляционного воздуха в ВП до высокой температуры дымовыми газами и его подмешиванием в вентиляционный поток. Дымовые газы производятся в неохлаждаемом теплогенераторе с механической слоевой топкой, имеют опасную высокую, для конструкции ВНУ, температуру и требуют охлаждения перед ВП. По технологии среди ВНУ-ВП выделяют следующие модификации:

- с разбавлением дымовых газов перед ВП холодным воздухом;
- с разбавлением дымовых газов рециркуляцией холодных дымовых газов;
- с установкой ВП на входе в вентиляционный канал или в ствол шахты;
- с установкой ВП рядом с теплогенератором.

Главной проблемой является надежность. Нужна защита от высокотемпературного воздействия топочной среды на первую трубную доску ВП (температура не должна быть выше 530°C, в некоторой степени на неохлаждаемые стены и особенно потолочные перекрытия). Охлаждение разбавлением холодным воздухом осуществляется просто: вентилятор подает холодный воздух в камеру смешения, расположенную перед ВП, и при смешивании температура дымовых газов снижается. Охлаждение разбавлением дымовых газов рециркуляцией холодных дымовых газов сложнее, требует установки тракта рециркуляции с дымососом от выхлопного дымохода за ВП до теплогенератора.

Установка ВП на входе в венткамеру сложна, требует крупногабаритного горячего теплоизолированного дымохода до ВП и от него дымохода холодных дымовых газов до дымовой трубы и уже не применяется. Сегодня ВП устанавливается только рядом с теплогенератором и его соединяют с венткамерой крупногабаритным горячим теплоизолированным воздухопроводом по схеме, разработанной А.В. Кривошапко с сотрудниками, патент РФ № 2189533 и др.

Итак, в России наиболее часто применяются установки ВНУ-К и ВНУ-ВП, использующие теплоту сжигания угля. Вопрос передачи тепла от продуктов сгорания до венткамеры и к потоку вентиляционного воздуха, включая выбор теплоносителя и его доставку с помощью теплотрассы или горячего воздухопровода, в принципе, понятен и несложен. Технология эффективного сжигания топлив сопряжена со множеством процессов, включая топочный, протекающий при температурах свыше 800-1200°C в среде ядовитых и агрессивных топочных газов, требует обращения с загрязняющими углем, золой и шлаком, в том числе расплавленными, а также с ядовитыми выбросами, горячим теплоносителем и прочим, это накладывает существенные ограничения и выделяет ее как определяющую.

Так, дымовая труба сжигающих установок, котельной или теплогенераторов должна располагаться на удалении не менее 30 м от венткамеры шахты, причем дымовую трубу желательнее располагать от нее на подветренной стороне. В итоге, расположение венткамеры и роза ветров определяют места установки дымовой трубы, в какой-то мере пылящих склада угля и сборного бункера золы (золоотвала), собственно котельной или теплогенераторов и связывающих их внешних дымоходов, теплотрассы антифриза или горячего воздухопровода и генплан строительства ВНУ в целом.

Вовлечение в топливный баланс низкосортных углей и углеродсодержащих отходов важно для угольных предприятий, так как шахтным способом добывают высококачественные, дорогостоящие угли, которые подвергаются тщательной сортировке и обогащению с выделением некондиции. Экономичнее в энергетике шахт в качестве сырьевой базы использовать прессекк и другие отходы угледобычи. Но так как типовые топки здесь непригодны, то нужны новые топочные устройства, разработанные на основе более эффективных технологий сжигания. Важными для шахт являются вопросы экологии и дымовых выбросов ВНУ.

На сегодняшний день распространено использование установок ВНУ-ВП с неохлаждаемым теплогенератором. Они комплектуются на основе типовых воздухоподогревателей и типовых слоевых топков, предназначенных [10] для эффективного сжигания качественных сортов углей. Для охлаждения дымовых газов до 530°C перед ВП используют их разбавление холодным воздухом. Эти установки ВНУ-ВП защищены патентами, где в качестве главного отличительного признака предлагается применение схемы двух-трехступенчатого улавливания золы в горячих золоуловителях: в шнековом золоуловителе проточного типа перед ВП и в поворотной камере под ВП с целью обеспечения минимального риска для здоровья человека.

Рассмотрение данной технологии и патентов выявило ряд проблем:

- типовые топки ТЛЗМ, ТЧЗМ не предназначены для сжигания низкосортных углей и углеродсодержащих отходов, а сжигание качественных сортов углей, в том числе продаваемых на экспорт, как указано выше, не экономично. Затраты на закупку качественного угля в 2-3 раза выше;
- используется разбавление дымовых газов перед ВП холодным воздухом, что снижает КПД. Температура горения каменного угля в неохлаждаемой топке – около 1600-1800°C, а температура перед ВП не более 530°C, и это разбавление должно быть трех-, четырехкратным. Далее этот нагретый воздух сбрасывается с трех-, четырехкратным ростом потерь тепла до $q_2 = 20-35\%$ с уходящими газами и кратным увеличением затрат на привод дымососа и строительство дымоходов и более высокой и крупной дымовой трубы. Разбавление дымовых газов перед ВП рециркуляцией холодных дымовых газов более правильно, так как они циркулируют в схеме, а не выбрасываются, унося тепло, и КПД не снижается. Схемы с рециркуляцией используются в наших ВНУ-ВП и некоторых других [11];
- потери тепла от горячего (300-400°C) крупногабаритного воздухопровода длиной около 30 м также велики, оценены на уровне 5-10%;

- незкранированная топка в тяжелой обмуровке, и каждый останов топки и ее запуск разрушительно сказываются на обмуровке, она растрескивается, может обрушиться, сокращается продолжительность ее работы. (Пояснение: кирпич и швы обмуровки хорошо воспринимают сжимающую нагрузку, но легко разрываются от растягивающих сил. При запуске обмуровка внутри топки быстро разогревается до 800-1000°C и более, а наружная часть стены остается холодной. Соответственно, внутренние слои обмуровки из-за нагрева расширяются сильнее и разрывают обмуровку с наружной стороны стены. При остановке и охлаждении топки изнутри картина становится обратной – разрушаются внутренние слои обмуровки и поэтому число таких циклов ограничено);

- зимой приходится поддерживать теплогенераторы горячими, поэтому необходимо сжигать уголь и следить за их работой, пережог топлива – до 10-25%;

- из рис. 2 следует, что в теплогенераторах высокая температура, по стенам стекает шлак. Стекающий расплав растворяет обмуровку, стены утончаются, работа установки недолговечна, требуются частые ремонты;

- при использовании качественных малозольных углей на колоснике образуется только тонкий слой золы, и даже в нормальных условиях через 1-2 года необходим ремонт колосникового полотна топки, сопоставимый с ее стоимостью;

- заявленная производителем двух-трехступенчатая система улавливания золы с целью обеспечения минимального риска для здоровья человека неэффективна в принципе. Во-первых, в ней первым стоит более эффективный инерционный шнековый золоуловитель, а в роли второго использована поворотная камера под ВП. Это однозначно противоречит практике организации очистки дымовых газов [12], предвключенный грубый золоуловитель хотя бы защищает золоуловитель тонкой очистки от крупной золы, а по данной схеме он стоит последним и просто создает аэродинамическое сопротивление;

- дополнительно по этому вопросу укажем, что в золоуловителях эффективность падает, а масса конструкции растет при увеличении объемного расхода дымовых газов, поэтому в крупных установках применяют [12] батарейные циклоны с многократно уменьшенными размерами, и ставятся они в газовом тракте на участках с наиболее низкими температурами. В анализируемой схеме снова все наоборот: шнековый золоуловитель сто-

ит в зоне горячих газов и, соответственно, он имееткратно увеличенные размеры, вес, стоимость при низкой эффективности, и он не может конкурировать с батарейными циклонами, тем более правильно расположенными;

- наиболее угрожающей особенностью рассматриваемой схемы является создание благоприятных условий для повышенной эмиссии возгонов золы и вредных оксидов азота и серы, опасных для легких и здоровья людей в целом. По нашим исследованиям [13], из золы, прежде всего, возгоняются оксиды щелочных металлов, натрия, калия, кальция и магния. Из горящего при высокой температуре слоя угля в данной схеме ВНУ–ВП идет их интенсивная возгонка, примерно так же, как испаряется вода из снега, а также есть сильная эмиссия оксидов азота и серы. Далее возгоны при охлаждении кристаллизируются так же, как образуется иней: туман и иней на деревьях и т.д. Но это – зола наиболее мелкая, которую очень трудно ловить, она далеко летит, а субмикронные частицы представляют значительную угрозу для здоровья. По стенкам топки теплогенератора (см. рис. 2) течет именно осевший «иней», который плавится, излучая тепло из слоя и из факела высокотемпературного горения над слоем. Стекающий

по стенкам топки расплав золы дает эмиссию возгонов и растворяет обмуровку, стены «стекают», постепенно утончаются, работа установки недолговечна и ненадежна.

Приведенный анализ показал, что рассмотренные технические решения, принятые в этих ВНУ–ВП частично морально устарели, неэкологичны и неэффективны, обеспечивают невысокий КПД на уровне 40-55%, дают высокий уровень эмиссии частиц и вредных оксидов азота и серы, требуются новые разработки ВНУ.

Компания «ПроЭнергоМаш» занимается разработкой энергоэффективных технологий в области энергомашиностроения и созданием надежной котельно-топочной техники, экономичной, экологически чистой и компактной. В основе разработок лежит низкотемпературная вихревая технология сжигания в топке «Торнадо», применимая для любого топлива, реализующая совместное слоевое и факельно-вихревое сжигание с удержанием в вихре уноса топливных частиц, с экологически эффективным дожиганием ее выхлопа (рис. 3).

При этом механизированные, зачастую охлаждаемые слоевые топочные устройства, до 10 вариантов, и тип вихревой камеры сгорания (с вертикальной или горизонтальной осью вихря либо дубль-топка – три варианта) выбираются на осно-



Рис. 2. Стеkanie шлака по стенам топки



Рис. 3. Чистый выхлоп дубль-топки

Характеристика установки ВНУ-К

Характеристика	Освоенные блоки					
Тепловая мощность, МВт	1,8	2,5	3,5	5,8	7,56	11,63
Расход вентиляционного воздуха, м ³ /мин	1830	2570	3760	5150	7760	11950
Топочное устройство	Выбирается по характеристикам топлива					
Топливо	Уголь дробленый, отсева – Ш, С, углесодержащие отходы					
Теплоноситель	Вода, антифризы на основе этилен- и пропиленгликоля					

ве характеристик предлагаемых к утилизации низкосортных углей и углесодержащих отходов.

Для обоснования применяемых технических решений ранее на моделях изучались [13] вопросы формирования в вихревой топке аэродинамической обстановки, вращающихся структур из удерживаемых частиц. Исследовалось поведение золы, ее укрупнение, и был выявлен конденсационный механизм формирования отложений из возгонов золы, который эффективно подавляется переходом на низкотемпературный топочный процесс. Вихревая аэродинамика топки обеспечивает изотермичность, равномерное тепловосприятие экранов и возможность безопасного применения современных антифризов, позволила освоить производство ВНУ-К, а сегодня это 47 котлов на 14 шахтах с общей тепловой мощностью 328 МВт. Теплотрасса, калориферы и котлы благодаря новым техническим решениям [9] работают на антифризе экономично, с низкими выбросами, десятилетиями, как при обычном теплоснабжении. Они не требуют водоподготовки, для ремонта и на случай аварий в схеме имеются баки для сбора

антифриза. Установка ВНУ-К комплектуется из 2-6 серийных блоков (см. таблицу).

При разработке нового типа ВНУ по патенту РФ №2716961 и другим с применением неохлаждаемых теплогенераторов по схеме ВНУ-ВП подробно изучались особенности слоевого горения и влияние схем подачи рециркуляции на охлаждение и топочные процессы. Например, добавление рециркуляции дымовых газов в топочный объем через сопла вторичного дутья охлаждает камеру сгорания, защищает ограждающие стены от шлакования примерно так же, как и добавка избыточного воздуха [11], и переводит топочный процесс в разряд низкотемпературных, с малой эмиссией вредных выбросов. Добавление рециркуляции дымовых газов в первичное дутье под колосник позволяет влиять на картину газообразования и выгорание угля в слое [10]. Концентрация кислорода уменьшается, кислородная зона расширяется с уменьшением восстановительной зоны, максимум температуры в горящем слое, расплавление, возгонка шлака и эмиссия возгонов, вредных оксидов азота и серы резко снижаются.



Рис. 4. Строительство ВНУ-ВП нового типа в Кемеровской области. Мощность ВНУ из трех блоков 22,68 МВт

На рис. 4 представлен монтаж ВНУ-ВП из трех блоков мощностью 7,56 МВт каждый. В зависимости от экологических требований в качестве золоуловителей используются производимые компанией «ПроЭнергоМаш» групповые и батарейные циклоны или рукавные фильтры с предуловителями, защищающими их.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены различные аспекты, проблемы организации вентиляции шахт. Так как добыча угля сопровождается эмиссией взрывоопасного метана, продолжающейся и из закрытых шахт, то это один из наиболее важных вопросов. В России требуется только подогрев вентиляционного воздуха, и преимущественно используются воздухонагревательные установки (ВНУ).

Рассмотрение используемых технологий и патентов выявило ряд проблем: ВНУ неэффективны – обеспечивают невысокий КПД, на уровне 40-55%, экологически опасны, так как дают высокий уровень эмиссии частиц и вредных оксидов азота и серы и морально устарели.

Компания «ПроЭнергоМаш» предлагает новые ВНУ, экономичные и экологически эффективные, основанные на принципиально новой низкотемпературной вихревой технологии сжигания в топке «Торнадо», набираемые блоками мощностью от 1,8 до 11,63 МВт. Установки ВНУ исполняются по двум схемам: котельная – калорифер на антифризе – ВНУ-К и с теплогенератором и прямым подогревом части воздуха в воздухоподогревателе дымовыми газами – ВНУ-ВП. В статье подробно рассмотрены их достоинства и особенности.

Список литературы

1. Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production / Nazar Kholod, Meredydd Evans, Raymond C. Pilcher et al. // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 256. P. 1-12.
2. Совершенствование разработки и вентиляции рудников / С.И. Луговский, Э.И. Шкута, И.Б. Ошмянский и др. М.: Недра, 1968. 303 с.
3. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт рудников Севера. М.: Недра, 1968. 257 с.

4. Ali Fahrettin Kuvuk, Seyed Ali Ghoreishi-Madiseh, Faramarz P. Hassani. Closed-loop bulk air conditioning: A renewable energy-based system for deep mines in arctic regions. // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 511-516.

5. Marco Antonio Rodrigues de Brito, Durjoy Baidya, Seyed Ali Ghoreishi-Madiseh. Techno-economic feasibility assessment of a diesel exhaust heat recovery system to preheat mine intake air in remote cold climate regions. // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. Is. 4. P. 517-523.

6. Belle B, Biffi M. Cooling pathways for deep Australian longwall coal mines of the future / In: *Proceedings of mine ventilation conference*. 2010. P. 94-104.

7. Guofa Wang, Yongxiang Xu, Huaiwei Ren. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29. Is. 2. P. 161-169.

8. Агафонов В.В., Горн Е.В. Использование стирлинг-технологий для сжижения шахтного метана и перевода автосамосвального транспорта угледобывающих компаний на газомоторное топливо. // *Уголь*. 2020. № 12. С. 12-16. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-12-16.

9. Воздухонагревательная установка котельная-калорифер ОАО шахты «Большевик», Холдинг, «Сибуглемет», г. Новокузнецк / А.А. Ивушкин, Е.М. Пузырев, Г.И. Ничик и др. // *Уголь*. 2007. № 4. С. 10-14.

10. Нечаев Е.В., Лубнин А.Ф. Механические топки для котлов малой мощности. Л.: Энергия, 1968. 311 с.

11. Пономарь В.Н., Ситков А.С., Коваленко В.К. Установки для нагрева шахтного воздуха. // *Уголь Украины*. 2014. № 3. С. 10-13.

12. Страус В. Промышленная очистка газов. М.: Химия, 1981. 616 с.

13. Пузырев Е.М., Голубев В.А., Пузырев М.Е. Разработка технологии «Торнадо» и котлов для сжигания лузги и других сельхозотходов // *Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ*. 2019. № 5(56). С. 16-18.

Original Paper

UDC 662.926:662.939 Ó Е.М. Пузырев, К.С. Афанасиев, В.А. Голубев, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 5, pp. 54-61
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-5-54-61>

Title
DEVELOPMENT OF THE MINE AIR HEATING INSTALLATIONS OF A NEW TYPE

Authors

Puzyrev E.M.¹, Afanasiev K.S.¹, Golubev V.A.¹

¹“ProEnergoMash-Project” LLC, Barnaul, 656905, Russian Federation

Authors' Information

Puzyrev E.M., Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director for Research, e-mail: pem-energo@list.ru

Afanasiev K.S., Deputy Design Director, e-mail: pro-energo@list.ru

Golubev V.A., PhD (Engineering), Head of group, e-mail: wadon@ya.ru

Abstract

Coal deposits development by the mine method is associated with the danger of explosions. It requires intensive ventilation to flush out the methane to a non-explosive concentration. The introduction considers the features of methane emissions, including closed mines and ventilation technologies with

MINERALS RESOURCES

control of the thermal regime of mines in foreign countries. A forecast for the production and use of coal, taking into account environmental requirements is given. A classification of air heating units (AHU) used in Russia is given in the main part of the article. Main types: AHU with antifreeze air heaters and AHU with direct air heating in the air superheater. Both types of AHU use coal combustion to generate energy for air heating. Shortcomings were noted and the direction of improvement of AHU was indicated. There are considered new principles of operation, characteristics and advantages of AHU, developed and produced by the ProEnergMash Company. They are based on low-temperature combustion of coal and coal-containing waste using a "Tornado" technology. Boilers and furnaces with "Tornado" heat generators have low rates of harmful emissions, are reliable and economical.

Keywords

Mine, Methane, Ventilation, Ecology, Efficiency, Boilers, Heat generators, Heaters, Antifreeze, Vortex furnace.

References

1. Nazar Kholod, Meredydd Evans, Raymond C. Pilcher et al. Global methane emissions from coal mining to continue growing even with declining coal production. *Journal of Cleaner Production*, 2020, (256), pp. 1-12.
2. Lugovsky S.I., Shkuta E.I., Oshmyansky I.B. et al. Improvement of mine development and ventilation. Moscow, Nedra Publ., 1968, 303 p. (In Russ.).
3. Dyadkin Yu.D. Foundations of mining thermophysics for mines of the North. Moscow, Nedra Publ., 1968, 257 p. (In Russ.).
4. Ali Fahrettin Kuvuk, Seyed Ali Ghoreishi-Madiseh, Faramarz P. Hassani Closed-loop bulk air conditioning: A renewable energy-based system for deep mines in arctic regions. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, (30), pp. 511-516.
5. Marco Antonio Rodrigues de Brito, Durjoy Baidya & Seyed Ali Ghoreishi-Madiseh. Techno-economic feasibility assessment of a diesel exhaust heat recovery system to preheat mine intake air in remote cold climate regions. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2020, Vol. 30(4), pp. 517-523.

6. Belle B. & Biffi M. Cooling pathways for deep Australian longwall coal mines of the future. In *Proceedings of mine ventilation conference*, 2010, pp. 94-104.
7. Guofa Wang, Yongxiang Xu & Huaiwei Ren. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, Vol. 29(2), pp. 161-169.
8. Agafonov V.V. & Gorn E.V. Use of Stirling-cycle technologies for coalmine methane liquefaction and conversion of coal dump trucks to natural gas motor fuel. *Ugol'*, 2020, (12), pp. 12-16. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-12-16.
9. Ivushkin A.A., Puzyrev E.M., Nichik G.I. et al. Air heating unit boiler-heater of JSC mine "Bolshevik" Holding "Sibuglemt" Novokuznetsk. *Ugol'*, 2007, (4), pp. 10-14. (In Russ.).
10. Nechaev E.V. & Lubnin A.F. Mechanical furnaces for small boilers. *Leninograd, Energiya*, 1968, 311 p. (In Russ.).
11. Ponomar V.N., Sitkov A.S. & Kovalenko V.K. Installations for heating of mine air. *Ugol' Ukraine*, 2014, (3), pp. 10-13. (In Russ.).
12. Straus V. Industrial gas cleaning. Moscow, Chemistry, 1981, 616 p. (In Russ.).
13. Puzyrev E.M., Golubev V.A. & Puzyrev M.E. Development of Tornado technology and boilers for burning husk and other agricultural waste. *Promyshlennyye i otopitelnyye kotelnyye i mini TEC*, 2019, No. 5(56), pp. 16-18. (In Russ.).

For citation

Puzyrev E.M., Afanasiev K.S., Golubev V.A. Development of the mine air heating installations of a new type. *Ugol'*, 2021, (5), pp. 54-61. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-54-61.

Paper info

Received March 29, 2021

Reviewed April 13, 2021

Accepted April 15, 2021

- 🔥 ПАРОВЫЕ И ВОДОГРЕЙНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ
- 🔥 ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
- 🔥 БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
- 🔥 ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ



Котельная тепловой мощностью 37,8 МВт с гитовой котловиной КВ 7,56-110 ШИВТ, тепломосильность - антифриз, Кемеровская область

Эффективные технологии сжигания
различных видов топлива и отходов производства

РЕКЛАМА



Ждем Вас на выставке «Уголь России и Майнинг», г. Новокузнецк!
Павильон №2, стенд № 2. А8.

✉ td@pem-energo.ru

☎ +7 (3852) 505-135

📍 656905, г. Барнаул,

🌐 WWW.PEM-ENERGO.RU

☎ +7 (964) 080-5115

Южный пр-д, 17 А