

# Дискуссия по формированию научно-технических основ разработки шахтных воздухонагревательных установок\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-24-32>

## АНТОНОВ А.Н.

Главный теплоэнергетик  
АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pr@kezsrb.ru

## ПОПОВ Д.В.

Генеральный директор  
ООО «Торговый дом  
«Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pr@kezsrb.ru

## КАРАСЕВА Т.М.

Заместитель главного инженера  
АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pr@kezsrb.ru

## ТЕМНИКОВА Е.Ю.

Канд. техн. наук,  
доцент кафедры теплоэнергетики  
Кузбасского государственного технического  
университета им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ),  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru

В статье с научно-технической точки зрения рассмотрены преимущества и недостатки различных видов шахтных вентиляционных воздухонагревательных установок (ВНУ), проведено сравнение конструкций, технических характеристик и потребительских свойств ВНУ ведущего производителя на рынке России – АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности» (КЭЗСБ) и новинок, предлагаемых компанией «ПроЭнергоМаш».

Желание к обсуждению статьи «Разработка шахтных воздухонагревательных установок нового типа» (авторы: Е.М. Пузырев, К.С. Афанасьев, В.А. Голубев), опубликованной в журнале «Уголь» № 5 за 2021 г. [1], и проведению дискуссии по изложенным в ней научно-техническим основам и практическим выводам, положено двумя взаимозависимыми факторами: слово «Торнадо» и Евгений Михайлович Пузырев, широко известный специалист по проектированию и производству паровых и водогрейных котельных на различных видах топлива и сельскохозяйственных отходах.

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

**Для цитирования:** Дискуссия по формированию научно-технических основ разработки шахтных воздухонагревательных установок / А.Н. Антонов, Д.В. Попов, Т.М. Карасева и др. // Уголь. 2021. № 10. С. 24-32. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-24-32.

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно официальным данным Ростехнадзора и научных работ, посвященных анализу причин аварийности и травматизма на угольных предприятиях [2], причинами аварий на предприятиях угольной промышленности в России чаще всего являются недопустимая загазованность горных выработок и нарушение режима проветривания.

Способов борьбы с метановой опасностью разработано много. Один из самых действенных – заблаговременная дегазация угольных пластов с дневной поверхности [3, 4]. Она позволяет значительно снизить риск метановой угрозы, однако не может полностью решить проблемы метанобезопасности – выделения, образования и миграционных процессов метана в угольных пластах и меж-

\* В порядке обсуждения – Ред.

ду ними. Поэтому и сегодня одним из основных способов борьбы с метаном является дегазация горных выработок вентиляционными установками. С увеличением интенсивности проходческих и очистных работ (что является мировой тенденцией) растет и интенсивность выделения метана из горного массива и отбитой горной массы. Не удивительно, что эффективности и надежности работы вентиляционных установок уделяется самое пристальное внимание – ведь от этого зависит безопасность труда шахтеров.

Увеличение протяженности выработок и выборочная отработка пластов повышают риски зонального, внезапного и импульсного выделения метана, увеличивают внешние и внутренние потери воздуха, требуют применения сложных вентиляционных сетей, увеличения расхода энергии на проветривание и т.д. Большое внимание необходимо уделять поступающему в шахту воздуху. В суровых условиях российского резко-континентального климата, в холодное время года, воздух необходимо подавать в шахту с положительной температурой – не ниже +2°C, как требуют ФНИП «Правила безопасности в угольных шахтах». Российские производители активно разрабатывают новые технологии и оборудование, позволяющие повысить эффективность подачи теплого воздуха в шахту.

В этой связи представляет интерес опубликованная в журнале «Уголь» № 5 за 2021 г. статья: Пузырев Е.М., Афанасьев К.С., Голубев В.А. «Разработка шахтных воздухонагревательных установок нового типа» [1]. В ней приведен анализ существующих в нашей стране и за рубежом способов подогрева шахтного воздуха, рассказывается об инновационных разработках и преимуществах новых типов установок производства компании «ПроЭнергоМаш» (г. Барнаул), которая специализируется на выпуске паровых и водогрейных котлов для сжигания лузги подсолнечника и отходов производства. Отмечено, что в 2006 г. компания «ПроЭнергоМаш» разработала и поставила на шахту «Большевик» в Кузбассе калориферную установку (с калориферами, установленными на входе в вентиляционный канал или в ствол шахты), работающую на экологически безопасном антифризе. Установка, по информации авторов обсуждаемой статьи, работает до сих пор и действует с высокой трехкритериальной эффективностью: экологичность, экономичность и эксплуатационность.

### О КЛАССИФИКАЦИИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Авторами статьи [1] предпринимается попытка классификации воздухонагревательных установок (ВНУ), согласно которой выделяют две группы: калориферные ВНУ-К и ВНУ с воздухоподогревателем (ВНУ-ВП).

Рассмотрим уместность подобной классификации.

Согласно описанию, ВНУ-К представляет собой установку с калориферами, расположенными в вентиляционной камере на входе в вентиляционный канал или в ствол шахты. В качестве теплоносителя в калорифере использует-

Для справки:

АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности» основан в 1968 г. как опытная площадка «Научного центра ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности». Завод выпускает более 100 моделей промышленного оборудования для безопасной работы шахтеров. В 1998 г. АО «КЭЗСБ» была разработана и внедрена новая инновационная технология «сухого» нагрева подаваемого в шахту воздуха, вызвавшая большой спрос на рынке. С этого момента ведет свою историю класс специализированных воздухонагревательных установок для обогрева промышленных предприятий и горных выработок с подачей горячего воздуха в виде присадки в вентиляционную систему, без промежуточного теплоносителя.

**АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности»**

650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3а.

Тел: (3842) 34-02-87, e-mail: kezsbs@kezsbs.ru

<http://kezsbs.ru/>



ся антифриз, нагреваемый в угольном котле. Такая система представляется авторами как отдельный тип воздухонагревательной установки. В действительности, калориферные установки различных типов для подогрева, подаваемого в шахту воздуха, питаемые от шахтных котельных, применяются в угольной отрасли в течение многих десятилетий. В котельных используются серийные промышленные паровые котлы на угольном топливе, тепловая энергия подается по теплотрассам на обогрев наземных сооружений и на подогрев шахтного вентиляционного воздуха (посредством калориферов). Описанная в статье так называемая «воздухонагревательная установка ВНУ-К» по своей конструкции представляет собой все ту же давно известную схему – обычный промышленный котел и калорифер, соединенные теплотрассой. Калориферные установки с подключением к шахтным котельным отличаются удлинением теплотрасс и повышенными теплопотерями, сравнительно сложны по конструкции, а значит, имеют недостаточную надежность. Для теплоносителя необходима водоподготовка, имеются риски замерзания – все это ведет к увеличению затрат на подогрев подаваемого в шахту воздуха.

В силу указанных недостатков котельной практический опыт эксплуатации убедил шахтеров выбрать специализированные воздухонагревательные установки, в которых горячий воздух вырабатывается на расположенной вблизи главного вентилятора нагревательной установке и подается непосредственно в систему вентиляции шахты, без использования промежуточных теплоносителей, по сравнительно короткому воздуховоду. Такие установки отличаются простотой конструкции и, как следствие, надежностью в эксплуатации, так необходимой для бесперебойной работы системы вентиляции шахты.

Данное конструктивное отличие позволяет выделять воздухонагревательную установку как отдельный вид: ВНУ представляет собой интегрированную систему, состоящую из нагревательной установки и системы подачи теплого воздуха в общую вентиляционную систему шахты. Единственным отличием установки «ПроЭнергоМаш» от общераспространенной технологии в составе отдель-

ных котельной и калорифера, описанных выше, является использование в качестве теплоносителя дорогого антифриза вместо воды, что не дает достаточных оснований выделить ее в отдельную группу или, тем более, причислить к виду специализированных воздухонагревательных установок.

**О ПРЕИМУЩЕСТВАХ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК НА АНТИФРИЗЕ**

Особенностью, предлагаемой авторами в статье [1] калориферной установки, является использование в качестве промежуточного теплоносителя антифриза. Данное техническое решение довольно спорное.

Несмотря на сравнительную безопасность антифриза типа HotBlood-ЭКО на основе пропиленгликоля, его стоимость в два раза выше, чем стоимость HotBlood-M (распространенный антифриз на основе этиленгликоля, токсичен и не может рассматриваться применительно к системам отопления), а применение в качестве теплоносителя в калориферных установках, нагревающих подаваемый в шахту воздух, недостаточно изучено.

Известно, что современные антифризы применяются в системах отопления частных домов и промышленных объектов. Но в случае разгерметизации калориферной установки, которая устанавливается непосредственно на входе вентилятора главного проветривания шахты, капли антифриза могут быть подхвачены мощным потоком вентиляционного воздуха и разнесены в виде тонкодисперсного тумана по горным выработкам на большие расстояния. В этом случае необходимо рассматривать не безопасность попадания антифриза на кожу человека, а учитывать его вред для органов дыхания. Этот вид риска не изучен и не учтен.

**ТЕХНОЛОГИЯ ШАХТНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

В обсуждении технологии ВНУ авторы статьи [1] говорят о недостаточно высокой надежности таких установок из-за возможного высокотемпературного воздействия дымовых газов на первую трубную доску воздухоподогревателя

ля (ВП) и рассматривают два варианта гарантированного предварительного охлаждения дымовых газов до 530°C. Наиболее простым методом авторы считают разбавление холодным воздухом, подаваемым вентилятором в камеру смешения перед ВП. Охлаждение же разбавлением рециркуляцией охлажденными дымовыми газами сложнее, так как такая схема разбавления требует установки тракта рециркуляции с дымососом от выхлопного дымохода за ВП до теплогенератора.

Однако указанный в статье [1] недостаток процесса охлаждения дымовых газов (ДГ) разбавлением рециркуляцией охлажденными ДГ в другом документе (патент РФ № 2716961, кл. F24H 3/00, F23B 10/00) этих же авторов становится достоинством, в котором вынесено в качестве технического результата следующее: «... экономичность ВНУ повышается за счет подключения дутьевых вентиляторов всасом к тракту охлажденных дымовых газов (ДГ). При этом горячие ДГ охлаждаются рециркуляцией через топку охлажденных ДГ без тепловых потерь, а не за счет их разбавления холодным воздухом со сбросом подогретого воздуха с ДГ при сопутствующих потерях тепла, как в прототипе» (т.е. патент РФ № 2386034, кл. E21F 3/00, F24H 3/02).

Схема установки по патенту № 2716961 представлена на рис. 1. Из схемы следует, что достижение описанных в патенте технических результатов достигается применением для охлаждения дымовых газов до температуры 530°C установкой на входе в ВП сопел 29, подключенных к тракту охлажденных дымовых газов 21.

В статье [1] авторы утверждают, что схемы с рециркуляцией охлажденных ДГ используются в построенных компанией «ПроЭнергоМаш» котлах. Но из этой же статьи становится ясно, что предлагаемая схема охлаждения горячих ДГ затруднительна и экономически нецелесообразна. Подобные логические противоречия встречаются на каждом шагу, что запутывает читателей и ведет к неправильным выводам о преимуществах рекламируемого авторами оборудования.

Коснемся рассмотрения авторами статьи недостатков и проблем воздухонагревательных установок ВНУ-ВП с охлаждаемым теплогенератором, которые комплектуют

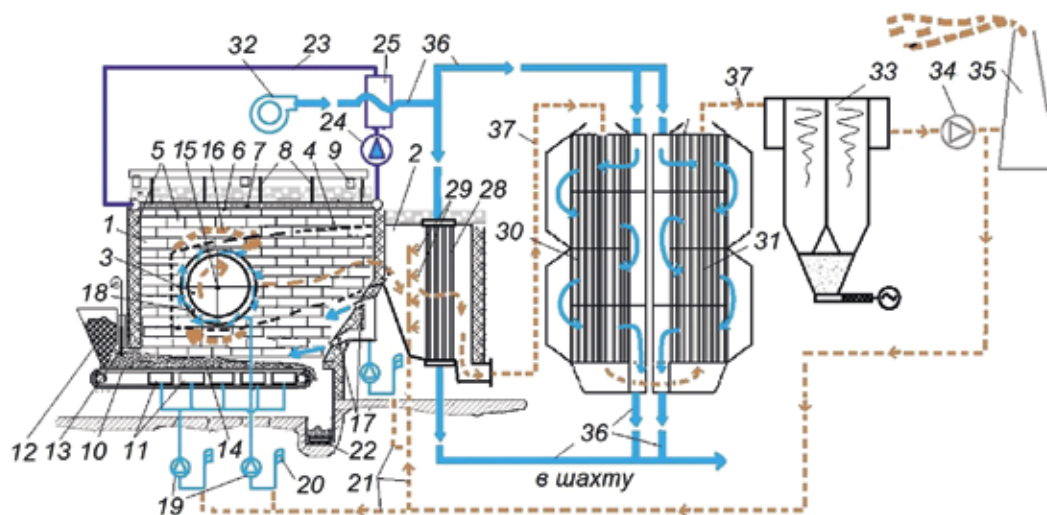


Рис. 1. Воздухонагревательная установка (Пат. № 2716961)

ся типовыми топками ТЛЗМ и ТЧЗМ. Из анализа проблем известной технологии и патентов авторами статьи выявлено несколько неблагоприятных моментов, относящихся к экологической, экономической сторонам и эффективности работы установки в целом. Проведем обсуждение дискуссионного характера по двум из них, заслуживающим внимания.

### ПЕРВЫЙ УПОМЯНУТЫЙ НЕДОСТАТОК ВНУ-ВП В СТАТЬЕ [1]

В статье [1] приводится сравнение с давно устаревшими и снятыми с производства типами и конструкциями ВНУ либо с не имеющими отношения к освещаемому вопросу. Например, термин «прямой нагрев» подразумевает смешивание горячих дымовых газов с воздухом для получения газозвушной смеси определенной температуры. Такие установки называются теплогенерирующими установками смесительного типа и применяются в сушильных печах и для других технологических процессов, но никак не для вентиляции и воздушного отопления. Например, ВНУ производства АО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности» (КЭЗСБ) – теплогенерирующая установка рекуперативного типа, в которой передача тепла от дымовых газов воздуху происходит через поверхности труб воздухоподогревателя. В АО «КЭЗСБ» к такой технологии ВНУ применяется термин «сухой» нагрев воздуха, т.е. без промежуточного жидкого теплоносителя.

Рассмотрим способы разбавления дымовых газов перед ВП, но не с точки зрения противоречивой оценки одного и того же метода разбавления в двух публикациях авторов (в статье [1] и патенте № 2716961), а с точки зрения соблюдения тепловых и материальных балансов, влияющих на гидродинамику в ВП и газоходе до дымососа.

В статье вначале дается положительная характеристика способу разбавления горячих ДГ холодным воздухом (простота, приводящая к повышению надежности), в последующих же абзацах отмечается, что этот способ не имеет преимуществ, так как снижает КПД, причем без обоснования и приведения расчетов. Противоречия собственному мнению, авторы статьи [1] подвергают критическому обсуждению метод разбавления ДГ холодным воздухом, а метод рециркуляции охлажденных ДГ считают более правильным. При этом утверждается, что разбавление холодным воздухом ДГ от температуры 1600-1800°C до температуры 530°C будет трех-четырекратное по объему, что повлечет за собой рост потерь тепла с уходящими газами  $q_2$  до 20-25% и кратным увеличением затрат на привод дымососа. С другой стороны, авторами указано, что разбавление ДГ перед ВП охлажденными дымовыми газами методом рециркуляции приводит к циркуляции их в схеме, а не выбросу, уносящему тепло, и КПД при этом не снижается. Для прояснения вопроса, приведем тепловой баланс для сравнения двух методов охлаждения дымовых газов. При этом примем следующие исходные данные для проведения расчета:

- температура дымовых газов из неохлаждаемой топki (отсутствие экранных труб)  $T_{dg} = 1600^\circ\text{C}$ ;
- температура уходящих газов после дымососа  $T_{ug} = 200^\circ\text{C}$ ;

- температура разбавленных дымовых газов перед воздухоподогревателем  $T_{rg} = 530^\circ\text{C}$ ;

- температура окружающей среды, например  $T_{oc} = -20^\circ\text{C}$ ;
- массовый расход дымовых газов из топki  $G_{dg}$  примем за 1 кг/с;

- остальные расходы определим из теплового баланса:  $G_{rg}$  – расход разбавленных дымовых газов перед ВП, кг/с;  $G_{oc}$  – расход воздуха из окружающей среды на разбавление, кг/с;  $G_{og}$  – расход охлажденных дымовых газов на разбавление при температуре 200°C, кг/с;

- примем среднюю теплоемкость дымовых газов при 530°C  $c_p = 1,1$  кДж/(кг×К), – учитывая, что теплоемкость изменяется в диапазоне температур от -20 до +1600°C в пределах от 1,005 до 1,2 кДж/(кг×К) и что для охлаждения на 1°C одного кг ДГ при высокой температуре необходимо большее количество более холодного воздуха. Теплоемкость ДГ в диапазоне температур от -20 до +200°C практически не изменяется (1,01–1,02 кДж/(кг×К)).

Тепловой баланс охлаждения горячих ДГ:

$$Q_{oh} = G_{dg} c_p (T_{dg} - T_{rg}) = M_{dg} (1600 - 530) = 1070 M_{dg}.$$

Тепловой баланс холодного воздуха для охлаждения горячих ДГ:

$$Q_{oc} = G_{oc} c_p (T_{rg} - T_{oc}) = M_{oc} (530 - (-20)) = 550 M_{oc}.$$

Тепловой баланс охлажденных ДГ для охлаждения горячих ДГ:

$$Q_{og} = G_{og} c_p (T_{rg} - T_{og}) = M_{og} (530 - 200) = 330 M_{og}.$$

Назовем произведение соответствующих расходов на теплоемкость  $G_{ij} c_p = M_{ij}$  водяными эквивалентами, кВт/К. Поскольку водяной эквивалент  $M_{dg} = 1,1$  кВт/К, то расход теплоты (тепловая мощность) для охлаждения горячих ДГ составит  $Q_{oh} = 1177$  кВт.

Известно, что для охлаждения горячих (высокотемпературных) ДГ необходимо подвести холодный теплоноситель с разной начальной температурой до достижения горячими ДГ температуры 530°C и с разными расходами, но расход теплоты теплоносителей для охлаждения будет равным. Таким образом, получаем:

$$Q_{oh} = Q_{og} Q_{oc}.$$

Из этого следует, что водяной эквивалент холодного воздуха согласно предыдущему уравнению равен:

$$M_{oc} = \frac{1177}{550} = 2,14 \text{ кВт/К}.$$

Тогда водяной эквивалент охлажденных ДГ составит:

$$M_{og} = \frac{1177}{330} = 3,57 \text{ кВт/К}.$$

При принятой средней теплоемкости  $c_p = 1,1$  кДж/(кг×К) расход охлаждающего теплоносителя в виде охлажденных дымовых газов будет больше в 1,67 раза, чем при методе разбавления горячих ДГ холодным воздухом. Расчет показывает, что разбавление холодным воздухом по массе будет близким к двукратному, а охлажденными ДГ – трех-четырекратным. По объему разбавление будет еще больше, так как плотность дымовых газов при средней темпера-

туре от +200 до 530°C, подающихся на разбавление, равна  $\rho_{dg}^{200} = 0,595 \text{ кг/м}^3$ , в то время как плотность холодного воздуха при средней температуре от -20 до + 200°C (то есть при 90°C) равна  $\rho_{air}^{90} = 0,97 \text{ кг/м}^3$ . То есть 1 кг охлажденных дымовых газов имеет объем 1,68 м<sup>3</sup>, а воздуха – 1,03 м<sup>3</sup>. Объемный расход по водяному эквиваленту охлажденных дымовых газов на разбавление горячих ДГ будет составлять 6,0 кВт/К против 2,2 кВт/К при разбавлении холодным воздухом.

Рассмотрим, к чему это приводит с точки зрения гидродинамических сопротивлений движению дымовых газов, начиная с температуры 530°C в ВП и газоотводящем тракте до дымососа.

Как ранее принято, плотность дымовых газов в диапазоне температур от 530 до 200°C для упрощения расчета в пределах инженерной погрешности составляет  $\rho_{dg} = 0,595 \text{ кг/м}^3$ .

У котельщиков принято, что скорость в газовом тракте не должна превышать 14 м/с, поэтому поперечное сечение должно удовлетворять этому условию. Приняв это положение за аксиому или априори, поставим ограничение, что газовый тракт с теплообменными устройствами рассчитан на охлаждение горячих ДГ холодным воздухом (если основа будет изменена на разбавление горячих ДГ охлажденными ДГ, результат и вывод, касающийся более высокого объемного расхода разбавлением охлажденными ДГ более чем в два раза по сравнению с разбавлением холодным воздухом, также будет свидетельствовать о более высоких гидродинамических потерях давления в газовом тракте).

Гидравлическое сопротивление газового тракта описывается законом Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d_e} \rho_{dg} \omega_{dg}^2,$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения;  $l$  – длина газоотводящего тракта, м;  $d_e$  – эквивалентный диаметр газоотводящего тракта, м;  $\rho_{dg}$  – средняя плотность дымовых газов, проходящих газовый тракт, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega_{dg}$  – средняя скорость дымовых газов в газовом тракте, м/с.

При прочих равных условиях, кроме изменения скорости потока ДГ, можно получить сопротивление движению потока при 14 м/с, которая будет пропорциональна скорости в квадрате, то есть 196. При использовании метода разбавления горячих ДГ охлажденными ДГ (рециркуляция) скорость потока газа возрастет в 1,67 раза – до 23,4 м/с. Значит, условно, сопротивление потоку ДГ при скорости 23,4 м/с пропорционально будет составлять 546,6, что в 2,78 раза выше. Важно подчеркнуть, что если скорость потока возрастает в 1,67 раза, то сопротивление движению этого потока возрастает в 2,78 раза, то есть в квадратичной зависимости.

Из вышеприведенного анализа объемов различного теплоносителя для охлаждения горячих ДГ и оценки создаваемого гидравлического сопротивления в газовом тракте следует несоответствие действительности фразы авторов статьи [1] о кратном увеличении затрат на привод дымососа. Отметим, что мощность привода дымососа пропорционально зависит от скорости потока в кубе. Поэтому

рассуждения авторов в статье [1] о преимуществе разбавления горячих ДГ охлажденными ДГ в сравнении с холодным воздухом не имеют под собой ни теоретических, ни инженерных оснований. Также не имеется научных оснований к озвученному как факт снижению КПД ВНУ-ВП за счет роста потерь с уходящими газами до 20-25%.

## ВТОРОЙ УПОМЯНУТЫЙ НЕДОСТАТОК ВНУ-ВП В СТАТЬЕ [1]

Авторы статьи [1] отмечают, что наиболее угрожающей особенностью рассматриваемой схемы работы ВНУ-ВП является создание благоприятных условий для повышенной эмиссии возгонов золы и вредных оксидов азота и серы. Проведенные авторами исследования [5] установили, что из золы (обратим внимание, что в указанной статье речь идет о биоотходах, а не об угле как топливе) возгоняются оксиды щелочных металлов. Авторы применили термин «возгонка» в качестве современного его синонима – «сублимация», т.е. фазовый переход вещества из твердого состояния в парообразное, минуя жидкое. Фраза «по стенкам топки теплогенератора течет именно осевший «иней», который плавится, излучая тепло из слоя...» является технической ошибкой, что необходимо признать, так как при плавлении, напротив, происходит поглощение теплоты слоем (подвод теплоты к слою), а излучение тепла от расплава возможно только в случае, если его температура выше температуры окружающей среды. Следующая фраза: «...стекающий по стенкам топки расплав золы дает эмиссию возгонов...», вероятно, также относится к технической ошибке, так как из расплава может происходить испарение оксидов щелочных металлов, а не возгонка. Описывая давно снятые с производства конструкции, авторы смело заявляют об их достаточно низком КПД на уровне 40-55%, что, вероятно, является технической ошибкой, так как основная составляющая по потерям теплоты связана с потерями –  $q_2$  (уходящими дымовыми газами), оцененными авторами величиной 20-25%. Тогда КПД ВНУ-ВП будет на уровне 70-75%, а не 40-55%.

## О ТЕХНОЛОГИИ «ТОРНАДО»

В обсуждаемой статье [1] авторы представляют разработку компании «ПроЭнергоМаш», в основе которой 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.

На рис. 2, 3, 4 представлены схемы технологий из охраняемых документов Е.М. Пузырева по использованию вихревой технологии для повышения эффективности работы топков при сжигании угля: авторское свидетельство № 1359565 на топку с кипящим слоем и центральным вихрем, являющееся прототипом для патента № 2230980; патент № 2230980, являющийся прототипом патента № 2591070, на способ подачи вторичного дутья и топочное устройство, в котором реализуется процесс с неподвижным, кипящим или вихревым (вращающимся) горящим слоем; патент № 2591070, являющийся прототипом патента № 2716961, твердоотопливный котел с вихревой топкой.

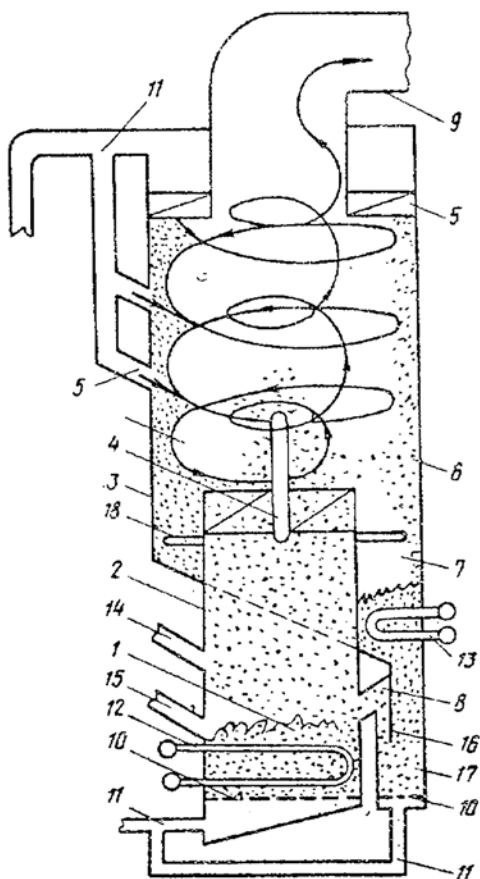


Рис. 2. Топка с кипящим слоем (А.с. № 1359565)

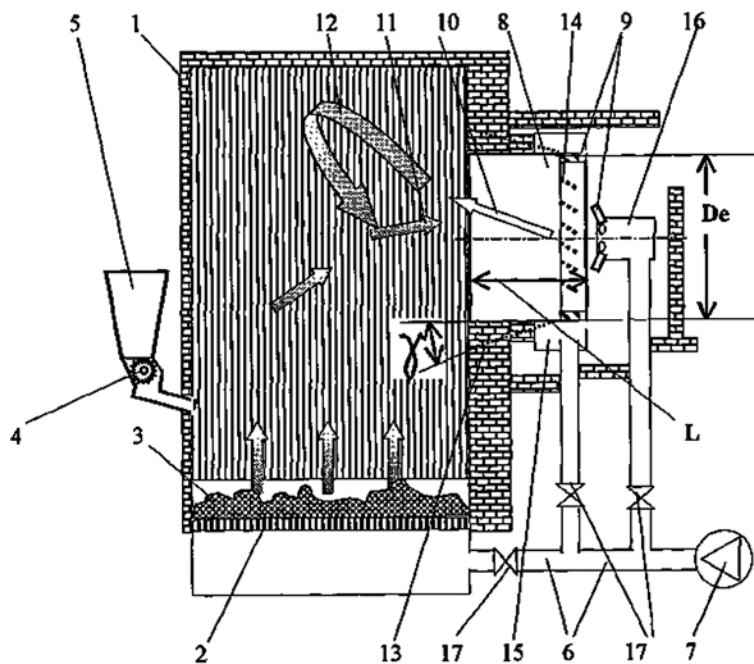


Рис. 3. Способ подачи вторичного дутья и топочное устройство (варианты) (Пат. № 2230980)

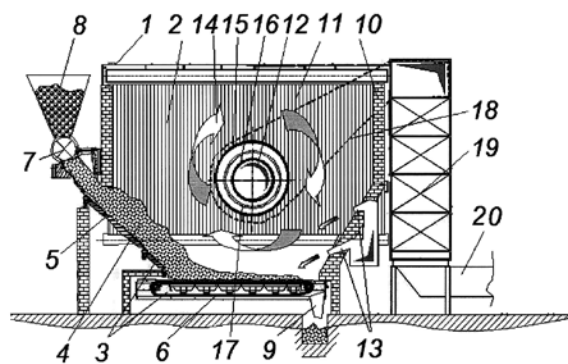


Рис. 4. Твердотопливный котел с вихревой топкой (Пат. № 2591070)

Обратим внимание, что последующие охранные документы, базирующиеся на прототипах авторских патентов и полезных моделях, подвергались критике, в том числе в части создаваемой вихревой структуры, претерпевали незначительные изменения и вновь патентовались. Внедрение же такого способа организации кольцеобразного вихря с одновременным выходом дымовых газов из топочного объема через сформированный вихрь в центральную часть газоотводящего окна достаточно проблематично. Известно, что гидродинамика определяет эффективность тепло- и массообменных процессов. Следует отметить, что авторы статьи [1] не учитывают этот постулат или обстоятельство.

Особенностью в последних представленных патентах, включая патент № 2716961, является создание вихревой структуры вторичного дутья в кольцевом пространстве с одновременным внутренним газоотводящим окном. В предположении авторов, вихрь в виде спирали, образующийся на выходе из кольцевого пространства тангенциальной закруткой или завихрителями, вращается горизонтально над слоевой топкой, а через внутреннее отверстие окна встречно выходят дымовые газы, т.е. окно является одновременно газоотводящим. Вопрос: каким образом дымовые газы из топочного пространства могут пройти через газоотводящее окно без разрушения вихря? Авторами патента не приведена информация о глубине проникновения вихревой структуры в топочном пространстве, поэтому возникает много подобных вопросов, на которые нет от-

ветов. Может ли вихревая структура выполнять возложенные на нее функции согласно патентам? Насколько технология, применяемая для одного вида топлива – сжигания лузги и других сельхозотходов, чувствительна к фракциям и сортаменту более тяжелого угольного топлива?

О котлах алтайских специалистов в Кузбассе известно давно. В частности, в Мариинской котельной, находившейся в управлении СДС-Энерго, один из котлов был построен по технологии «Торнадо». Автором проекта выступала компания «ПроЭнергоМаш». Долговременные пусконаладочные работы не смогли привести к успешному запуску котла, попытка воплощения запатентованной технологии провалилась.

Другой котел, по информации авторов статьи [1], был поставлен на шахту «Большевик», но в нем вихревое движение ДГ в топочном объеме использует принципы циклонной технологии камеры сгорания, разработанной АО «КЭЗСБ» еще в 2008 г. специально для рабо-

ты на угольном топливе, а не как в патентах № 2230980 от 15.04.2002, № 2591070 от 30.07.2014, № 2627757 от 18.11.2015, № 2748363 от 02.11.2020 и других для сжигания лузги. Тогда где же «Торнадо»? Для чего получают патенты на технологию, которая описана и запатентована, но не может быть применена? Существует ли эта технология в реальности, или это только ловкий маркетинговый ход для продвижения на рынке?

### ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ АО «КЭЗСБ»

Теплоустановки без промежуточного жидкого теплоносителя строились в экспериментальных целях в единичных экземплярах и ранее, но именно АО «КЭЗСБ» в 1998 г. впервые соединило воедино отрывочные наработки, разработало новые инновационные технологии и освоило промышленный выпуск оборудования нового вида – специализированных воздухонагревательных установок с технологией «сухого» нагрева, предназначенных для подачи горячего воздуха в виде присадки в вентиляционную систему шахты. Сегодня АО «КЭЗСБ» является бесспорным лидером в производстве ВНУ, заказчикам сдано в эксплуатацию 37 установок различной конструкции и конфигурации.

Для получения тепловой энергии в ВНУ АО «КЭЗСБ» используются различные виды топочных устройств, наиболее подходящие для конкретного заказчика. Они надежны и долговечны в работе, позволяют использовать низкокалорийные и некондиционные угли с низкими фракциями, технологии подачи теплого воздуха снижают коэффициент теплотерь на воздуховоде до 3%. Кстати, необходимо четко разграничивать теоретический КПД на разных режимах и реальный КПД самой нагревательной установки и ВНУ в целом. Твердотопливные угольные котлы имеют высокий КПД = 90% и более на максимальной нагрузке, при этом КПД всей ВНУ составляет не менее 75%. Кроме того, в установке, по желанию за-

казчика и в соответствии с техническими возможностями площадки, может использоваться комбинированное сжигание топлива – добавление шахтного метана из системы дегазации.

Выпускаемые ВНУ постоянно совершенствуются в направлении оригинальности конструкции (рис. 5), способов подачи воздуха, минимизации потерь тепла с уходящими топочными газами, рекуперации топочных газов, интенсификации процесса горения угля в камере сгорания, технология защищается соответствующими патентами.

С 2008 г. АО «КЭЗСБ» разработана (патент № RU2604577C2 «Способ подогрева шахтного вентиляционного воздуха и устройство для его осуществления») и серийно производится нагревательная установка со слоевой топкой и технологией закручивания потока пылевоздушной смеси внутри камеры сгорания, отличающейся наклонными щелевыми форсунками с вторичным дутьем, а также камерой догорания топлива.

Камера сгорания ВНУ производства АО «КЭЗСБ» снабжена наружной конвективной рубашкой, которая дополнительно экранирует камеру и позволяет свести теплотери к минимуму. Для охлаждения боковых стенок камеры сгорания используется атмосферный воздух с низкой температурой, подаваемый в конвективную рубашку небольшим центробежным вентилятором. Нагретый в рубашке воздух используется затем для вторичного дутья – подается в камеру сгорания через щелевые форсунки, с помощью которых формируется циклонное движение топливно-воздушной смеси, что обеспечивает:

- охлаждение неэкранированных стен камеры сгорания и более равномерное распределение температуры по всему объему камеры;
- удержание и увеличение времени нахождения мелких частиц топлива в камере сгорания для их полного сгорания и дожигания;

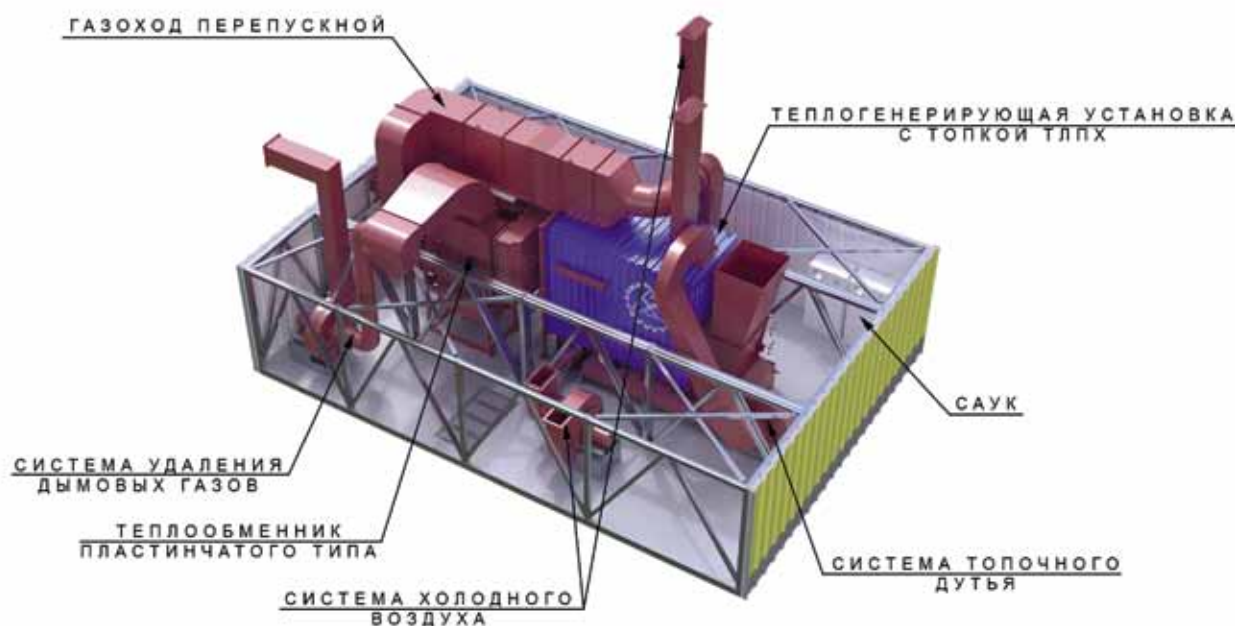


Рис. 5. Один из новых видов воздухонагревательных установок АО «КЭЗСБ»

– регулирование температуры в топочном объеме для обеспечения низкотемпературного режима горения топлива (снижение оксидов азота и предотвращение шлакования стенок).

В зависимости от качества используемого топлива и предпочтений заказчика циклонно-слоевая камера сгорания может комплектоваться различными топочными устройствами – слоевого сжигания (прямоходные топки типа ТЛПх), факельно-слоевого сжигания (топки обратного хода с пневмомеханическими забрасывателями типа ТЛЗМ) или топками высокотемпературного кипящего слоя.

В ВНУ производства АО «КЭЗСБ», после выхода из нагревательной установки с системой очистки, горячие дымовые газы в воздухоподогревателе нагревают присадочный воздух из окружающей среды до заданной температуры, который затем дозированно подается непосредственно в воздухоподающий канал вентилятора главного проветривания шахты специальным устройством, позволяющим наиболее эффективно смешивать горячий (до 300°C) и внешний холодный воздух. Такая простая и надежная конструкция, вместе с тем, полностью исключает попадание дымовых газов в систему шахтной вентиляции.

Применение в ВНУ вторичного дутья, поступающего в топочный объем через щелевые форсунки конвективной рубашки, которые за счет тангенциального расположения к камере сгорания создают циклонное движение ДГ с вертикальной осью вращения, обеспечивает практически полное сгорание угля, поэтому рециркуляция дымовых газов в целях дожигания частиц топлива не требуется. Для предотвращения перегрева трубок воздухоподогревателя в ВНУ применяется система аварийного разбавления дымовых газов холодным атмосферным воздухом. Эта система работает исключительно в аварийных режимах, когда температура дымовых газов перед воздухоподогревателем поднимается выше допустимой. На штатных рабочих режимах чрезмерные потери тепла с уходящими газами не происходят.

В 2016 г. АО «КЭЗСБ» получен очередной патент на комбинированную установку (полезная модель RU169379U1 «Воздухонагревательная установка для получения комбинированной тепловой энергии»), предназначенную для получения как горячего воздуха, так и горячей воды, подачи их на обогрев наземных сооружений и на подогрев шахтного вентиляционного воздуха. Отличие данной установки заключается в одновременном получении горячей воды и горячего воздуха: горячая вода получается в поверхностях нагрева за счет теплообмена излучением и конвекцией, а дымовые газы через теплообменник нагревают атмосферный воздух, используемый затем для добавления в систему вентиляции шахты. Дополнительный теплосъем в поверхностях нагрева увеличивает теплоотдачу камеры сгорания, что повышает эффективность работы и КПД всей установки. В отличие от описанной выше новой установки завода «ПроЭнергоМаш» с дорогим антифризом в данной установке промежуточный теплоноситель не используется – горячая вода в ней получается за счет теплообмена излучением

и конвекцией в камере сгорания, а горячий воздух – в теплообменниках.

С 2019 г. (патенты RU2720428C1 «Теплоэнергетический комплекс для теплоснабжения горных выработок и помещений большого объема и способ» и RU2717182C1 «Модульный теплоэнергетический комплекс и способ нагрева шахтного воздуха, осуществляемый с его помощью») АО «КЭЗСБ» предлагает заказчикам модульные ВНУ (МВНУ). Сохранив все достоинства предыдущих разработок, конструкция МВНУ стала проще, а эффективность возросла. Модульность позволяет значительно сократить время монтажа на объекте заказчика, а при необходимости установка может быть перенесена на другую площадку.

На сегодняшний день линейка предлагаемых АО «КЭЗСБ» воздухонагревательных установок способна в полной мере эффективно удовлетворить самые разнообразные требования горняков по мощности, используемому топливу, мобильности. Установки отличаются простотой конструкции и совершенством исполнения, надежностью, экономичностью и экологичностью работы в любых самых суровых условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Патентование играет важную роль в защите изобретений добросовестных производителей, стимулирует создание новых технологий, двигает прогресс в науке и технике.

К сожалению, в условиях нездоровой конкуренции патентное право зачастую становится маркетинговым инструментом. Так называемые «изобретения» отличаются формальным изобретательским уровнем, не имеют реального «изобретательского шага», улучшающего технический результат в реальных условиях, а потому бесполезны для потребителя.

Надеемся, что настоящей статьей нам удалось положить начало дискуссии среди специалистов по выявлению действительно стоящих новых технологий, заложить основы научного подхода к разработке и внедрению на рынок продукции, действительно нужной потребителю.

## Список литературы

1. 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.
2. Минеев С.П. О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах // Уголь Украины. 2018. № 1-2. С. 50-59.
3. Tom Dugan, Emery Arnold. GAS! USA: CBM Partners Corporation, 2008. 186 p.
4. Пармузин П.Н. Зарубежный и отечественный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов. Ухта: УГТУ, 2017. 109 с.
5. Пузырев Е.М., Голубев В.А., Пузырев М.Е. Разработка технологии «Торнадо» и котлов для сжигания лузги и других сельскохозяйственных отходов // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2019. № 5(56). С. 16-18.



Original Paper

UDC 662.926:662.939 © A.N. Antonov, D.V. Popov, T.M. Karaseva, E.Yu. Temnikova, 2021  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 10, pp. 24-32  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-24-32>

**Title**

**DISCUSSION ON SHAPING THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF MINE AIR HEATING UNITS**

**Authors**

Antonov A.N.<sup>1</sup>, Popov D.V.<sup>2</sup>, Karaseva T.M.<sup>1</sup>, Temnikova E.Yu.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>“Kemerovo Research Plant of Safety Systems” JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

<sup>2</sup>Trading house “Kemerovo Research Plant of Safety Systems” LLC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

<sup>3</sup>Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Authors Information**

**Antonov A.N.**, Chief Heat Power Engineer, e-mail: [pr@kezsrb.ru](mailto:pr@kezsrb.ru)

**Popov D.V.**, General Director, e-mail: [pr@kezsrb.ru](mailto:pr@kezsrb.ru)

**Karaseva T.M.**, Deputy Chief Engineer, e-mail: [pr@kezsrb.ru](mailto:pr@kezsrb.ru)

**Temnikova E.Yu.**, PhD (Engineering), Associate Professor of Thermal power engineering department, e-mail: [teu.pmahp@kuzstu.ru](mailto:teu.pmahp@kuzstu.ru)

**Abstract**

Paper discusses advantages and disadvantages of various types of mine ventilation air heating units basing at scientific and technical point of view, compares VNU designs, technical characteristics and consumer properties of the leading manufacturer at Russian market – “Kemerovo Research Plant of Safety Systems” JSC, and new products manufactured by “ProEnergMash” company.

**Keywords**

Underground mine, Methane, Ventilation, Ecology, Cost effectiveness, Boilers, Heat generators, Blower heater, Antifreeze, Swirling-type furnace, Air heating unit.

**References**

1. 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

2. Mineyev S.P. On the prevention of accidents associated with methane explosions in coal mines. *Ugol' Ukrainy*, 2018, (1-2), pp. 50-59.

3. Tom Dugan, Emery Arnold. GAS! USA: CBM Partners Corporation, 2008, 186 p.

4. Parmuzin P.N. International and domestic experience in development of coal bed methane resources. *Ukhta, Ukhta State Technical University Publ.*, 2017, 109 p. (In Russ.).  
 5. Puzyrev E.M., Golubev V.A. & Puzyrev M.E. Development of “Tornado” technology and boilers for burning peelings and other agricultural waste. *Promyshlennyye i otopitel' nye kotel' nye i mini-TETC*, 2019, No.5(56), pp. 16-18. (In Russ.).

**For citation**

Antonov A.N., Popov D.V., Karaseva T.M. & Temnikova E.Yu. Discussion on shaping the scientific and technical basis for the development of mine air heating units. *Ugol'*, 2021, (10), pp. 24-32. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-24-32.

**Paper info**

Received August 5, 2021

Reviewed August 25, 2021

Accepted September 15, 2021