

$G_2$  - расход газа;

$c_p$  - теплоемкость;

$(T^{cm} - T^{n2})$  - снижение температуры при пульсирующем горении, по сравнению со стационарным горением.

Хотя величина  $\eta_{ex}^{n2}$  для реальных случаев мала [4], но механической работы вполне хватает для работы огневого устройства без тягодутьевых механизмов, и более того, для прохождения газов через поверхности нагрева. Однако для реализации этого достоинства топки котлов должны быть выполнены определённой конструкции (например, как камеры пульсирующего горения). Эксергетическое преимущество пульсирующего горения обобщено в [3].

Для существующих котлов совершенствование можно вести на основе улучшения процесса теплопередачи, где потери эксергии обусловлены в основном наличием имеющегося температурного напора (разностью температур продуктов сгорания и рабочего тела). Без снижения тепловой мощности это достигается интенсификацией теплообмена при помощи пульсаций, включением в работу всей поверхности нагрева, поддержанием чистоты теплообменных поверхностей.

Учитывая это, было предложено усовершенствовать работу котлоагрегатов, путём уменьшения эксергетических потерь при теплопередаче и использования части эксергии уходящих газов, где часть дымовых газов котла после конвективных поверхностей нагрева направляется опять в топку котла с наложением на них пульсационного воздействия [5]. На практике это выглядит следующим образом. В филиале РУП Брестэнерго Брестские тепловые сети, на Восточной районной котельной №1 изменяется схема рециркуляции дымовых газов котла ПТВМ-50 с применением пульсационного воздействия. Существующая схема рециркуляции дымовых газов предусматривает подачу рециркулируемых газов отдельным дымососом в шахту забора воздуха дутьевыми вентиляторами котла, где они смешиваются с воздухом и поступают далее на горелочные устройства. В изменённой схеме, часть рециркулируемых газов по-прежнему подаётся в шахту забора воздуха и далее на горелочные устройства. Другая часть, по отдельности смонтированному трубопроводу, через сопла подаётся вверх топки со стороны боковых экранов. При этом, с помощью клапана специальной конструкции, установленного на этом трубопроводе, поток газов приобретает пульсирующий характер. Этот клапан состоит из заслонки и тяги, подключенной к соленоиду. Основное требование к клапану, обеспечить не синусоидальное открытие и закрытие заслонки, а создать скоротечный импульс прерывания потока. Алгоритм открытия и закрытия клапана задаётся системой управления соленоидом.

Ввод в топку части охлаждённых дымовых газов, отобранных между первым и вторым пакетами или за вторым пакетом конвективной части (по ходу газов), позволяет снизить температурный уровень топочных газов, а также увели-

чить скорость газов в конвективных поверхностях нагрева. Кроме этого, подача газов рециркуляции в верхнюю часть топки, охлаждая топочные газы, уменьшает неравномерности температурного поля в выходном сечении топки и разверку температуры металла конвективных поверхностей нагрева, тем самым, защищая поверхности нагрева от тепловых перегрузок в котлах башенной компоновки; а также устраняет или уменьшает наружное загрязнение конвективных поверхностей нагрева. А пульсационное воздействие на поток дымовых газов, как и пульсирующее горение, являясь нестационарным режимом, способствует интенсификации теплообменных процессов.

В этом случае потоки эксергии в котле несколько изменятся, эксергетическая диаграмма показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2 к рабочему телу (водяной пар или нагретая вода для систем отопления) подводится дополнительная эксергия от уходящих газов и эксергия от пульсационного воздействия. Кроме этого, за счёт нестационарности данного потока продуктов сгорания происходит интенсификация теплообменных процессов в конвективных поверхностях нагрева, что должно привести к уменьшению температурного напора между газами и рабочим телом, а следовательно, уменьшить потери эксергии при теплопередаче.

Технико-экономический эффект от реализации предложения оценивается уменьшением расхода топлива при прежней тепловой мощности котлоагрегата за счёт использования части эксергии уходящих газов и интенсификации теплообменных процессов в конвективных поверхностях нагрева котла, путём пульсационного воздействия на поток продуктов сгорания. Количественное значение эффекта можно найти, составив тепловой и эксергетический балансы котлоагрегата до и после предложенного усовершенствования или проведя исследования на экспериментальной установке.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрищенко А.И. Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок. Москва. Высшая школа, 1985. С.31.
2. Бэр Г.Д. Техническая термодинамика. Москва. Мир, 1977. С.432,450.
3. Отчёт по госбюджетной работе по Межвузовской программе фундаментальных исследований «Приоритет» «Разработать теоретические основы и принципы формирования эффективных систем производства, передачи и потребления электрической и тепловой энергии в условиях дефицита энергоресурсов». Руководитель Северянин В.С. Брест, 1998. 2 этап. С.14.
4. Северянин В.С. Установки пульсирующего горения. Вестник МГТУ им. Баумана. Серия Машиностроение, 1995. №1. С.34.
5. Северянин В.С., Никитин В.Л.. Способ работы котлов. Заявка на патент РБ. № а 20010642 от 24.07.01 г.4

УДК 662.76

**Тимошук А.Л.**

## О ПРОБЛЕМАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В настоящее время в мире 86% энергии получают при сжигании различных видов топлив, причём 61% мирового производства энергии выпадает на долю природного газа и нефти. Поэтому сегодня особенно актуально дальнейшее ис-

следование процессов горения, особенно в направлении снижения стоимости и выбросов вредных веществ, повышения регулируемости, эффективности и компактности топливосжигающего оборудования.

**Тимошук Александр Леонидович.** Аспирант каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

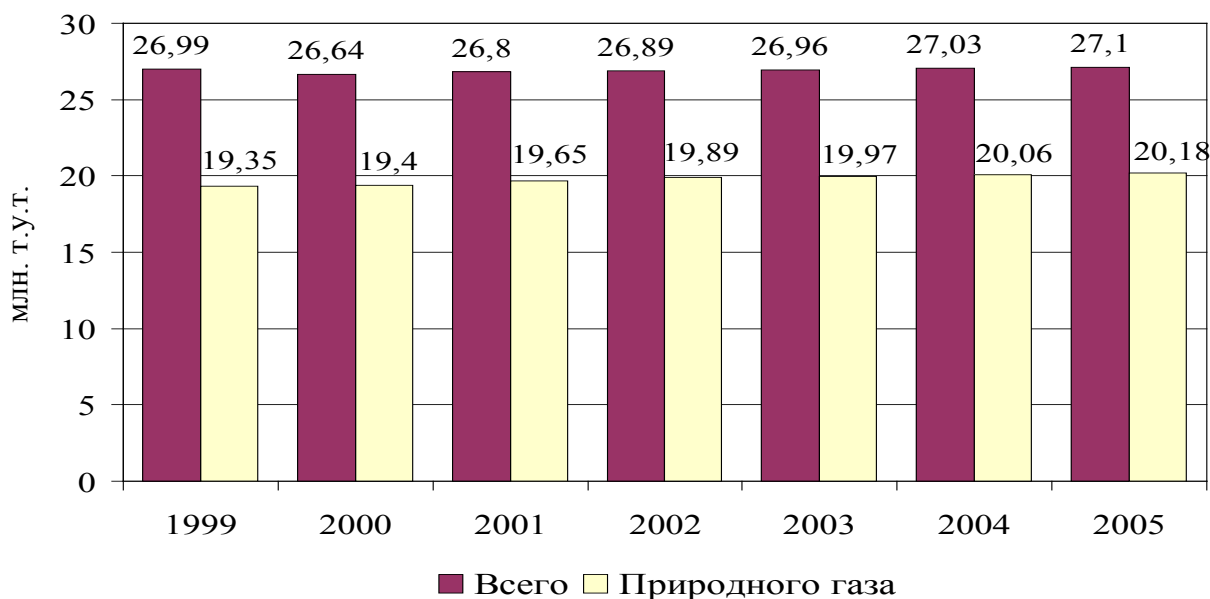


Рис. 1. Потребление ТЭР в Республике Беларусь по годам.

Обеспеченность энергоносителями является показателем экономической независимости государства. Республика Беларусь такой независимостью, к сожалению не обладает. Доля энергоресурсов, добываемых на территории Республики (нефть, попутный газ, торф, дрова и т. д.) составляет лишь 17% от общей потребности в ТЭР (топливно энергетические ресурсы). Это соответствует 5.6 млн. т.у.т. в год (общее потребление ТЭР в 2000 году составило 31.47 млн. т.у.т.) [1]

На сегодняшний день основу белорусской энергетики составляет природный газ, поставляемый из Российской Федерации. На этот вид топлива делается основная ставка при прогнозировании объёмов потребления ТЭР на ближайшие годы (рис. 1).

Рост потребления природного газа - тенденция, характерная не только для энергетики Беларуси, но и мировой энергетики в целом.

Согласно результатам исследования Международного энергетического агентства [2], в ближайшие 20 лет в мировой добыче и потреблении энергоресурсов ситуация будет складываться следующим образом: природный газ по темпам прироста займет второе место после гидроэнергетики. Спрос на него будет увеличиваться в среднем на 2.7% в год. К 2020 году доля природного газа в энергопотреблении возрастет с 22% до 26%. Рост использования газа произойдет за счет снижения производства атомной энергии и использования угля. Развитие новых технологий в области газотурбинных установок (ГТУ) комбинированного цикла обусловит перестройку электроэнергетики в пользу природного газа. Немаловажную роль играют и его экологические преимущества перед другими энергоносителями.

Росту потребления природного газа в Республике Беларусь способствует также развитие газотранспортной системы (рис. 2), (рекламный материал государственного предприятия по транспортировке и поставке газа «Белтрансгаз»).

По состоянию на 01.01.2000 года в Республике Беларусь имеется 202 газораспределительные станции (ГРС) общей производительностью 79.9 млрд. м<sup>3</sup> в год, работающие со следующим коэффициентом загрузки:

- до 5% - 48.5% ГРС;
- от 5% до 20% - 33.5% ГРС;

- от 20% до 50% - 12.5% ГРС;
- свыше 50% - 5.5% ГРС.

Схема магистральных газопроводов ГП «Белтрансгаз» включает в себя 6411 км газопроводов в одностороннем исчислении диаметром от 100 до 1400 мм. Транспортировку газа по газопроводам обеспечивают 6 линейных компрессорных станций, состоящих из 17 компрессорных цехов с установленными в них технологическими установками очистки, компримирования и охлаждения природного газа суммарной мощностью 720 МВт.

Кроме того, до 2005 года планируется:

- построить 20 ГРС и 738 км газопроводов - отводов в Витебской области, южной части Полесья, севере Минской области, загрязнённых территориях Гомельской, Могилевской и Брестской областей;
- строительство распределительных газопроводов к новым потребителям от существующих ГРС свыше 5 тыс. км, из них в городах и посёлках более 2.4 тыс. км;
- снижение потребления сжиженного газа за счет перевода жилищного фонда на природный газ;
- завершение строительства Прибугского подземного хранилища газа - 1.35 млрд. м<sup>3</sup> (по последним данным - до 2.5 млрд. м<sup>3</sup>);
- развитие газонаполнительных станций для автотранспорта.

Как видно из приведенных данных, газотранспортная система Республики обладает значительным потенциалом.

Развивающаяся система газоснабжения создает предпосылки для широкого внедрения газоиспользующего оборудования, в том числе установок средней мощности: в сельском хозяйстве для сушки зерна, нагрева воды; в системах децентрализованного теплоснабжения (в качестве доводчиков); для банно-прачечных комплексов; бассейнов и т.п. Сегодня на эти нужды используется дорогостоящая электроэнергия. Использование электроэнергии, полученной при сжигании топлива на нагревание, т.е. обратное превращение электрической энергии в тепловую нерационально, когда можно использовать для этих целей топливо.



Рис. 2. Газотранспортная система Республики Беларусь.

Еще одним немаловажным преимуществом природного газа по отношению к другим энергоносителям является его невысокая цена. Сегодня, в силу сложившейся политической ситуации, цена российского природного газа для белорусских потребителей существенно ниже цены его на мировом рынке. Однако, в ближайшие годы ситуация может измениться не в пользу белорусских потребителей. Российская компания «Газпром» заявила о повышении цен на природный газ. По данным «Газпрома», освоение перспективных месторождений на Ямале должно начать окупаться при цене газа \$ 50 – 60 за 1000 м<sup>3</sup>. Рост цен должен быть плавным. Предполагаемые темпы роста указаны в таблице 2. К 2010 году цена составит \$ 45 за 1000 м<sup>3</sup>. Компания также требует от правительства разрешения продавать 5% объема добываемого газа по свободным ценам.

Таблица. План «Газпрома» по повышению цен на газ

	Период, годы				
	2003	2004	2005	2006	2010
Цена, \$ за 1000 м <sup>3</sup>	22	27	30	35	45

Это повышение цен не может не затронуть и белорусских потребителей.

На сегодняшний день природный газ является наиболее перспективным энергоносителем. Для рационального использования природного газа необходимо новое, высокоэффективное оборудование для различных производств. В этом направлении особый интерес представляет оборудование, использующее новые методы сжигания топлив.

Основными требованиями, предъявляемыми к новому оборудованию, являются:

- высокий коэффициент полезного действия (КПД);
- низкая стоимость;
- простота конструкции и обслуживания;
- низкая металлоёмкость;

- надежность;
- долговечность;
- безопасность эксплуатации;
- возможность модернизации, перевода на другие виды топлива;
- широкий диапазон регулируемости.

В значительной мере данным условиям удовлетворяет оборудование, использующее новый принцип сжигания топлива - пульсирующее горение, исследование и применение которого проводится в Брестском государственном техническом университете. Основные преимущества такого оборудования по отношению к традиционным топливосжигающим устройствам указаны в [3]. В частности таковыми являются:

- малая удельная материалоемкость
- снижение потребления электроэнергии на собственные нужды
- интенсификация горения и конвективного теплообмена;
- очищающее действие на поверхностях нагрева;
- снижение выбросов оксидов азота и сажи и т.д.

Использование природного газа в качестве топлива позволяет применять такие новые высокоэффективные способы сжигания, как сжигание в пористых насадках газовоздушной смеси (так называемые инфракрасные горелки (ИК)), имеющие многочисленные преимущества перед факельным сжиганием. Одним из существенных преимуществ пористых горелок является их компактность: горелка диаметром 70 мм и длиной 250 мм, имеет тепловую мощность 10 кВт.

В качестве газообразного топлива для таких установок помимо природного газа может быть использован водород, биогаз, генераторный газ, а также смеси различных углеводородов.

Современное состояние в производстве газоиспользующего оборудования такое, что, если не рассматривать оборудование большой энергетики, существующее газоиспользующее оборудование ориентировано в основном на малую мощность (для отопления частных домов, горячего водоснабжения).

Оборудование данного типа широко представлено на рынке отечественными и зарубежными производителями. Газовые отопительные и водогрейные котлы, серийно выпускаемые промышленностью, обладают хорошими эксплуатационными характеристиками и приемлемой ценой. В то же время недостаточно развито производство оборудования средней мощности для таких потребителей, как сельскохозяйственные предприятия, коммунально-бытовое хозяйство, небольших промышленных предприятий (зерносушилки, бассейны, бани, прачечные и т. п.). Хорошие перспективы имеет создание топливосжигающего оборудования средней мощности, работающего по принципу пульсирующего горения. Внедрение газоиспользующего оборудования особенно перспективно в области энергосбережения и охраны окружающей среды, а также сулит значительный экономический эффект.

Природный газ является также практически единственным видом топлива, используемого для контактного нагрева воды. В связи с отсутствием при сжигании природного газа потерь теплоты в результате механической и химической неполноты сгорания и весьма небольшими потерями тепла в окружающую среду, единственной потерей теплоты в котлах, о дальнейшем снижении которой может идти речь, является потеря тепла с уходящими газами. По отношению к низшей теплоте сгорания газа потеря тепла с уходящими газами составляет 5 – 6 %. Эффективность метода контактного нагрева

достигается за счет минимальных потерь тепла с уходящими газами при охлаждении продуктов сгорания ниже точки росы. При охлаждении уходящих газов до низких температур можно максимально использовать «скрытую» теплоту, выделяющуюся при конденсации водяного пара.

Использование в качестве топлива водорода  $H_2$  является одним из перспективных направлений. Во многих государствах проводятся программы по развитию водородной энергетики.

Исследование контактных водонагревателей на базе установок пульсирующего горения, использующих слоевое пульсирующее горение природного газа, имеет в перспективе создание оборудования, которому присущи преимущества обоих вышеописанных методов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Республиканская программа энергосбережения на 2001 – 2005 г., Мн. 2001
2. Черноусов С. В. Перспективы развития мировой энергетики на период до 2020 г // Энергоэффективность №№ 4-5 2002г.
3. Северянин В.С. Котлы с пульсирующим горением. // Энергетика № 1 2001г., стр. 79 – 85.
4. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Л.: Недра, 1990, стр. 6 – 8.

УДК 621.438

**Черников И.А.**

### СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО КОТЛА С ТОПКОЙ НОВОГО ТИПА

Предлагаемая схема котла предусматривает использование роторной топки и прерывистой подачи воздуха на горение.

Роторный топочный процесс – это ворошение массы топлива в топочной камере в вертикальной плоскости специальными лопастями. При ворошении топлива мелкой фракции (например, опилки), за счет образования падающего потока частиц с находящейся наверху лопасти, за счет переворачивания слоя топлива между лопастями, образуются новые поверхности контакта топлива с окислителем, что ведет к интенсификации процесса горения.

Для экспериментальной проверки нового метода сжигания топлива, изложенного в работе [1], использовался лабораторный макет роторной топки с габаритами 0,5x0,5x0,5 м. Схема макета представлена на рис. 1.

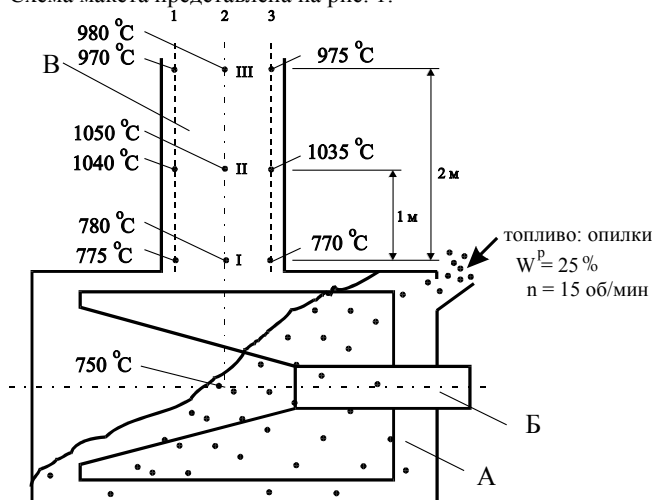
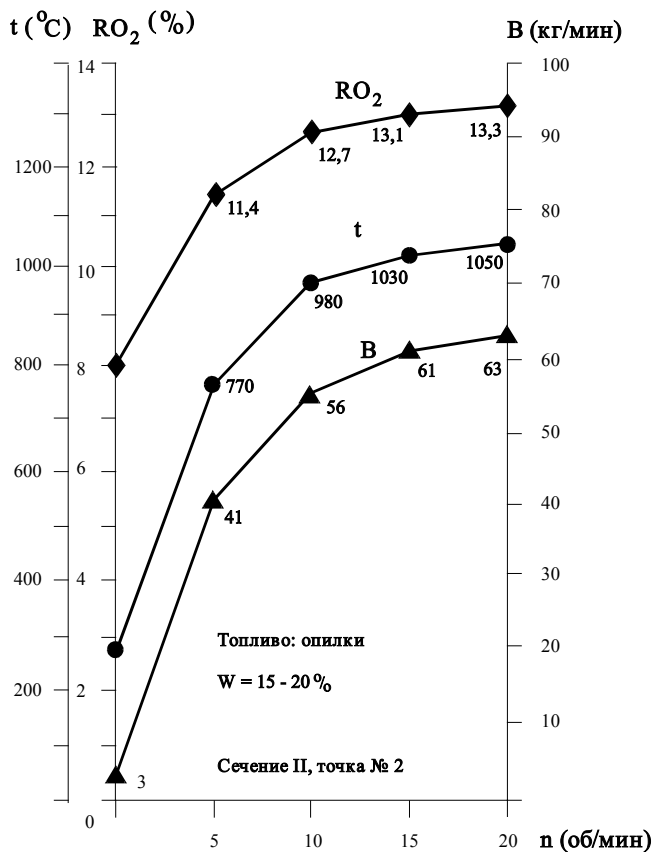


Рис. 1. Схема экспериментальной роторной топки.



Черников Игорь Анатольевич. Инженер НИС Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.