

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 621.181.23

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.22

**С. Ю. КОРОТИН
А. И. ЩЁЛОКОВ**

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

RESEARCH OF MULTI-COMPONENT HEAT CARRIERS AND DEVELOPMENT OF TECHNICAL
MEANS OF THEIR RECEIVING

Рассмотрена возможность и целесообразность использования в тепловых технологических процессах многокомпонентных теплоносителей, получаемых путем впрыска и последующего испарения мелких капель воды при непосредственном контакте ее с продуктами полного сгорания углеводородного топлива. Приводятся результаты исследований процесса формирования газопаровой смеси в теплогенераторе с впрыском перегретой воды в поток продуктов полного сгорания газового топлива.

The possibility and expediency of using multicomponent coolants in thermal technological processes, obtained by injection and subsequent evaporation of small water droplets by direct contact with the products of complete combustion of hydrocarbon fuel, is considered. The results of studies of the formation of gas-vapor mixture in the heat generator with the injection of superheated water into the stream of products of complete combustion of gas fuel are given.

Ключевые слова: газопаровая смесь, теплогенератор, перегретая жидкость

Keywords: gas-vapor mixture, heat generator, superheated liquid

Внедрение энергосберегающих технологий в промышленности является частью энергетической стратегии России на период до 2030 г. Ежегодный объем потребления газового топлива в РФ в течение последнего десятилетия превышает отметку 450 млрд. м³ [1]. Значительная доля природного и сжиженного углеводородного газа расходуется промышленностью на различные технологические нужды: сушка и нагрев материалов, производство пара для установок по переработке сырья, выпаривание растворов, отопление помещений и др.

Стремление максимально полно использовать теплоту, выделяющуюся при сгорании углеводородных топлив, а также существенно уменьшить массогабаритные параметры теплогенерирующей техники и ограничения на темп принятия нагрузки привело к реализации идеи применения смесительных теплогенераторов, в которых вода и образующийся

водяной пар контактируют с продуктами сгорания непосредственно в объеме, заполненном продуктами полного сгорания природного газа. При этом образуется газопаровая смесь (ГПС) – теплоноситель, получаемый путем полного сжигания углеводородного топлива с последующим вводом в высокотемпературные продукты сгорания мелко распыленной воды в количестве до 40–45 % от массы продуктов сгорания, с последующим ее испарением и перемешиванием до образования однородной газопаровой смеси. Возможность повышения эффективности теплотехнологий за счет применения такого рода теплоносителя обосновывается на следующих сторонах применения газопаровых смесей:

1. Отсутствие либо значительное снижение потерь с уходящими газами, так как последние являются одним из компонентов данного теплоносителя. В качестве примера можно привести сопоставление

подогрева нефтепродуктов в емкости с использованием ГПС, и применяемой в настоящее время технологии, при которой в качестве теплоносителей используются пар и горячая вода, поставляемые котельной [2]. Рекомендуемая температура уходящих газов t_{yx} на выходе из котлов различных типов при работе на природном газе принимается равной 120 °С [3], при этом потери с уходящими газами в окружающую среду составляют 3–4 % теплоты, полученной в результате сгорания топлива. При использовании ГПС в качестве теплоносителя, при температуре на выходе из тракта теплообменника $t_{yx} = 50$ °С, потери теплоты с уходящими газами представляется возможным снизить до 2–2,5 %, при одновременном обеспечении высоких значений коэффициента теплоотдачи от теплоносителя к стенке теплообменного аппарата. Интенсификация теплообмена достигается за счет частичной конденсации водяных паров, содержащихся в газопаровой смеси.

2. Процесс формирования теплоносителя происходит за счет теплообмена в объеме, где происходит перемешивание смешивающихся сред (капельной жидкости и газа), ввиду чего уравнение теплопередачи имеет вид [2]:

$$Q = kvV\Delta t, \quad (1)$$

где kv – объемный коэффициент теплопередачи, связанный эмпирическими зависимостями, определяемыми для конкретного типа аппарата, с тонкостью распыла;

V – полезный, или активный объем смесительной камеры;

Δt – средняя разность температур теплоносителей.

Данное обстоятельство предопределяет снижение массы и компактность теплогенерирующих устройств, вырабатывающих газопаровые теплоносители, что позволяет размещать их непосредственно в зоне потребления теплоносителя: в нефтедобывающей скважине, на входном трубопроводе технологической установки или сосуда и т. п., а также изготавливать теплогенераторы в конфигурации мобильных установок и ручного инструмента.

3. В случае, если технологическим процессом предусматривается конденсация теплоносителя, полезно используется скрытая теплота фазового перехода водяных паров, входящих в состав газопаровой смеси.

4. Возможность получения широкого диапазона температур теплоносителя (его теплосодержания) без изменения давления, путем регулирования отношения количества впрыскиваемой воды к расходу дымовых газов.

В проведенном исследовании рассматривался процесс формирования газопаровых смесей, в которых водяной пар находится выше линии насыщения, т. е. такая смесь может рассматриваться как смесь идеальных газов. При фиксированном давлении температура газопаровой смеси находится в зависи-

мости от количества воды, подведенной к продуктам сгорания в камере смешения. При неизменной производительности горелки увеличение массового расхода впрыскиваемой воды ведет к увеличению массового расхода смеси при одновременном снижении ее энтальпии.

Выражение энтальпии газопаровой смеси имеет вид:

$$h = h_{nc} r_{nc} + h_{en} r_{en}, \quad (2)$$

где h_{nc} и h_{en} – соответственно энтальпии (при температуре и давлении сформировавшейся смеси) влажных продуктов сгорания в составе ГПС и перегретого пара, полученного при испарении впрыскиваемой воды;

r – массовые доли соответствующих компонентов смеси.

В качестве примера в работе исследовались ГПС на основе продуктов сгорания пропан-бутановой смеси с соотношением компонентов 50:50. Расчетным путем была получена зависимость температуры ГПС от количества вносимой влаги. Диаграмма состояния газопаровой смеси приведена на рис. 1. Помимо отношения массы Δd_{nc} подводимой воды к массе влажных продуктов сгорания, являющегося технологическим параметром процесса выработки ГПС, отображено полное влагосодержание газопаровой смеси d_{enc} с учетом влагосодержания продуктов сгорания, которое необходимо для конечного потребителя в случае конденсации водяных паров, и выражается как

$$d_{enc} = d_{nc} + \Delta d_{enc}, \quad (3)$$

где Δd_{enc} – количество влаги, подводимой при впрыске воды, в расчете на 1 кг сухих продуктов сгорания,

$$\Delta d_{enc} = \Delta d_{enc} \cdot m_{ал nc} / m_{сух nc}. \quad (4)$$

Работы по созданию компактного, высокоэффективного и надежного генератора газопаровой смеси проводились на кафедре промышленной теплоэнергетики Самарского государственного технического университета с 2008 г. На первом этапе были заложены теоретические основы формирования газопаровых смесей, определены их физические свойства и произведены лабораторные исследования на опытно образце теплогенератора [4]. На втором этапе была проведена работа по поиску конструктивных решений для промышленной установки, разработаны и научно обоснованы мероприятия по интенсификации рабочего процесса, которые привели к созданию опытно-промышленного теплогенератора (рис. 2, 3).

Был предложен и прошел экспериментальную проверку метод интенсификации контактного теплообмена, заключающийся в тонком распылении воды в продуктах полного сгорания газового топлива, находящейся в состоянии перегретой жидкости [5], с последующим дроблением капель жидкости

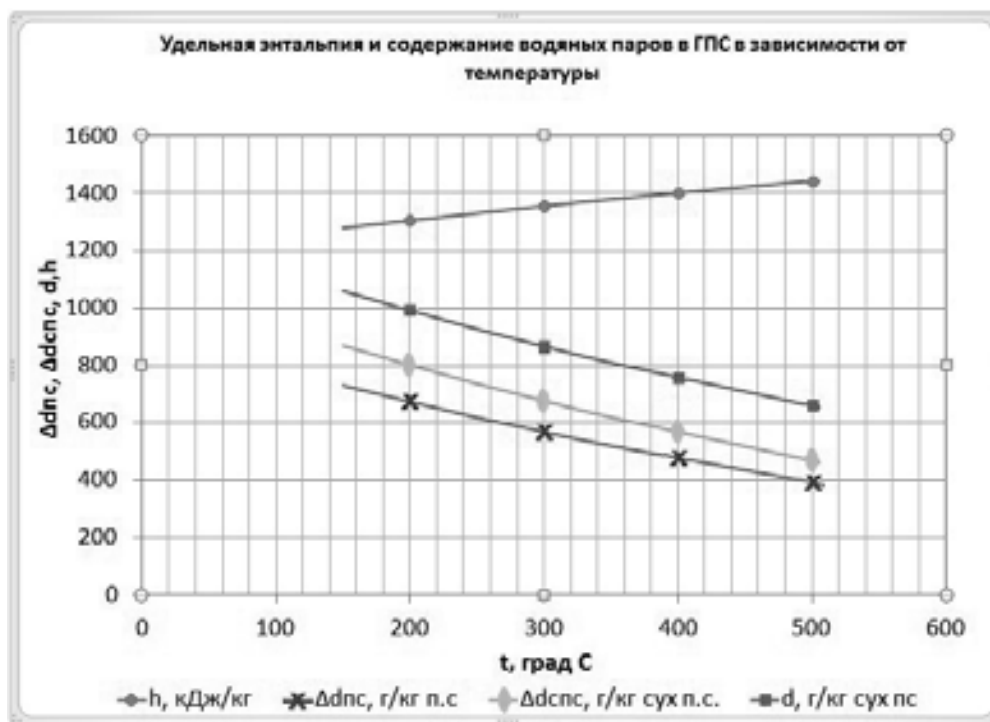


Рис. 1. Диаграмма состояния газопаровой смеси (топливо – пропан-бутан технический) в диапазоне температур 150–500 °С

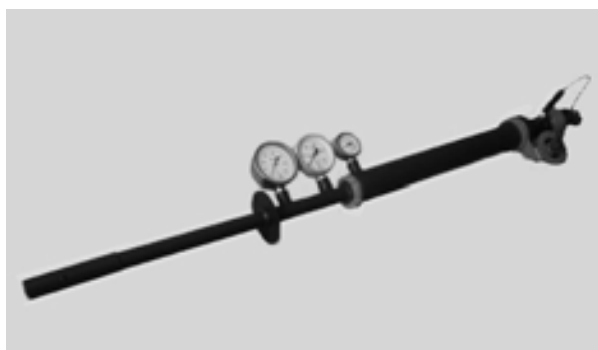


Рис. 2. Теплогенератор газопаровой ТГ-2А



Рис. 3. Полевые испытания теплогенератора ТГ-2А

на мельчайшие капли, высокий темп испарения которых позволяет формировать газопаровую смесь в пределах короткой камеры. На базе прежних разработок кафедры промышленной теплоэнергетики была создана и прошла цикл испытаний специальная короткофакельная многоструйная горелка для камеры сгорания теплогенератора, обеспечивающая полное сгорание газозвушной смеси, позволяющая минимизировать ее размеры [6] при значительной тепловой мощности устройства.

Разработанный в рамках НИОКР по созданию малогабаритного генератора газопаровых смесей теплогенератор ТГ-2А мощностью 115 кВт представляет собой устройство, состоящее из водоохлаждаемой камеры сгорания длиной 590 мм при калибре

49 мм, оснащенной горелкой с периферийной подачей газа, рассчитанной на работу под давлением 0,1–3,0 кгс/см² и имеющей водяное охлаждение, а также камеры смешения длиной 700 мм, в которой происходит тонкое распыление предварительно нагретой воды и образование паровой фазы с последующим ее перемешиванием с продуктами сгорания, находящимися в паровой фазе. Размеры камеры сгорания были выбраны из соображений обеспечения полного сгорания газового топлива, которое для подобной горелки, согласно исследованиям на экспериментальном стенде ВНИИМТ [7], достигается на длине 12 калибров.

Реализованная в ходе экспериментов методика испытаний позволила определить соотношение

полезно используемой и затраченной теплоты через учет расходов соответственно газопаровой смеси в выходном сечении и исходных компонентов. В выходном сечении теплогенератора был установлен регулятор, позволяющий поддерживать заданные условиями опыта давление газопаровой смеси и соответственно ее расход. В качестве топлива использовалась пропан-бутановая смесь с теплотой сгорания $Q_{ис} = 104800$ кДж/кг. Результаты испытаний подтвердили корректность методики расчета формирования ГПС, а также позволили установить диапазон устойчивой работы горелки в пределах от 30 до 110 % номинальной нагрузки при условии поддержания избыточного давления в камере сгорания свыше $0,3$ кгс/см². Коэффициент полезного действия теплогенератора составил 99,5 % на режиме номинальной нагрузки и 98,5 % при нагрузке 30 %.

В ходе проработки экономической стороны внедрения технологии газопарового теплоносителя проводилось технико-экономическое сравнение систем теплоснабжения технологических установок производственного объекта с тепловой нагрузкой 2,5 Гкал/ч при следующих заданных параметрах отпускаемого теплоносителя (газопаровая смесь / перегретый пар): температура – 225 °С, необходимое избыточное давление для преодоления гидравлических сопротивлений – не ниже $0,2$ кгс/см².

Вывод. Результаты проведенного анализа показали, что разница в себестоимости единицы отпущенной теплоты, при применении газопаровой технологии и при теплоснабжении от паровой котельной, составляет 16,4 % (без учета непродуцируемых потерь теплоты при выводе парового котла на рабочий режим), в пользу применения газопаровых технологий.

Об авторах:

КОРОТИН Семен Юрьевич

аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики Самарский государственный технический университет 443010, Россия, г. Самара, ул. Галактионовская, 141
E-mail: arro116@mail.ru

ЩЁЛОКОВ Анатолий Иванович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики Самарский государственный технический университет 443010, Россия, г. Самара, ул. Галактионовская, 141
E-mail: anatoly37@bk.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергетический бюллетень № 28. М.: Аналитический центр при Правительстве РФ, 2015. 30 с.
2. Григорьев В.А., Зорин В.М. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник. М.: Изд-во МЭИ, 2007. 632 с.
3. Литов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. М. – Ижевск: Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. 592 с.
4. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и доп. СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
5. Никитин М.Н. Повышение энергоэкологической эффективности тепловых технологий за счет использования генераторов газопаровых теплоносителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. Самара, 2012. 200 с.
6. Мариничев Д. В. Экспериментальное исследование тонкодисперсного распыла перегретой воды: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14. М., 2013. 116 с.
7. Щёлоков А.И. Микрообъемная модель турбулентного горения газов // Промышленные установки на газовом топливе: сб. науч. тр. / Куйбышев. политех. ин-т им. В.В. Куйбышева. Куйбышев, 1972. С. 103–107.

KOROTIN Semyon Y.

Postgraduate Student of the Industrial Heat Power Engineering Chair
Samara State Technical University
443010, Russia, Samara, Galaktionovskaya str, 141
E-mail: arro116@mail.ru

SHCHELOKOV Anatoliy I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Industrial Heat Power Engineering Chair
Samara State Technical University
443010, Russia, Samara, Galaktionovskaya str, 141
E-mail: anatoly37@bk.ru

Для цитирования: Коротин С.Ю., Щёлоков А.И. Исследование многокомпонентных теплоносителей и разработка технических средств их получения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 4. С. 133–136. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.22.
For citation: Korotin S.Yu., Shchelokov A.I. Research of Multi-Component Heat Carriers and Development of Technical Means of their Receiving // Urban Construction and Engineering. 2018. V. 8, 4. Pp. 133–136. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.22.