

УДК 697.244; 697.328
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47459

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОНТАКТНО-МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТОВ ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ

В. Е. Никольский

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра энергетики
Украинский государственный
химико-технологический университет
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск,
Украина, 49005
E-mail: iresh1@mail.ru

Описано спробу промислової експлуатації розробленої контактної-модульної системи для індивідуального обігріву будівель та споруд з застосуванням низькоемісійних апаратів заглибленого горіння з організацією багаторазової інверсії та модуляції коливань контактуючих фаз різної теплової потужності. Приведено конструкцію і принцип роботи апаратів, дана їх стисла технічна характеристика. Зіставний аналіз результатів проведених державних випробувань підтвердив високу енерготехнологічну ефективність запропонованої розробки

Ключові слова: апарати заглибленого горіння, конденсаційні котли, тепломасообмін, енерготехнологічна ефективність

Описан опыт промышленной эксплуатации разработанной контактнo-модульной системы для индивидуального обогрева зданий и сооружений с применением низкоэмиссионных аппаратов погружного горения с организацией многократной инверсии и модуляцией колебаний контактирующих фаз различной тепловой мощности. Приведена конструкция и принцип работы аппаратов, дана их краткая техническая характеристика. Приведенный анализ результатов проведенных государственных испытаний подтвердил высокую энерготехнологическую эффективность предложенной разработки

Ключевые слова: аппараты погружного горения, конденсационные котлы, тепломасообмен, энерготехнологическая эффективность

1. Введение

В настоящее время характеристики энергоэффективности топливоиспользования теплоэнергетического оборудования в Украине, в сопоставлении с соответствующими показателями развитых стран, низкие, энергетический парк страны требует реконструкции [1–3]. Реально оценивая состояние теплоэнергетического парка, следует отметить значительное посткризисное снижение его потенциала не только в связи с выводом из эксплуатации атомных реакторов большой мощности, но и в связи с физическим износом и моральным старением ныне действующих теплоэнергетических мощностей. Системного ввода новых мощностей на протяжении последних 20 лет не производилось. Эти обстоятельства негативно влияют на деятельность промышленности в целом.

Кроме сказанного, ужесточились требования к охране окружающей среды, действующий теплоэнергетический парк в целом им не соответствует.

В сложившихся условиях, а также в связи с общим подорожанием энергоресурсов в мире, пристального внимания заслуживают внедрение энергозберігаючих техники и технологий.

В этом отношении хорошо себя зарекомендовал специфический вид теплогенерирующих устройств, работающих на основе принципа сжигания газообразного или распыленного жидкого топлива непосредственно в нагреваемой среде – аппараты погружного горения (АПГ).

Поэтому актуальной следует признать разработку и исследование контактнo-модульной системы (КМС) с применением аппаратов погружного горения, отвечающей современным требованиям энергоэффективности и экологии для обогрева зданий жилого и промышленного назначения.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Максимальное использование энергии топлива, в том числе «скрытой» (latent) теплоты, т. е. реализация высшей теплоты сгорания, составляет важнейшую тенденцию развития современных теплоэнергетических установок. В этой связи широкое распространение получили конденсационные котлы, в том числе малой мощности [4, 5], системы с их использованием, а также теплоутилизационные установки «varog pump» [4]. Указанные установки характеризуются КПД, превышающим 100 % по отношению к низшей теплоте сгорания.

Контактные аппараты и тепломасообменники «газ – жидкость» – основной тип аппаратов, которые используются в соответствующих установках для утилизации теплоты продуктов сгорания. В качестве жидкого теплоносителя может использоваться как вода из основного тракта, так и из отдельного контура, являясь при этом промежуточным теплоносителем, например между утилизационными аппаратами «продукты сгорания – вода в контуре» и «вода в контуре – воздух горения» [4, 6].

Последние являются «паровыми насосами» или аппаратами «варог рипр» и служат для возвращения в основной процесс тепловой энергии продуктов сгорания через воздух горения путем нагрева и увлажнения последнего.

Способ, основанный на контактном нагреве в АПГ воды как конечного или промежуточного теплоносителя, по-видимому, является наиболее универсальным, экономичным и энергоэффективным для отопления промышленных и жилых строений при использовании природного газа как топлива. При этом удается свести потери энергии к минимуму, как за счет практического отсутствия теплотрасс, так и благодаря возможностям обеспечить низкую температуру уходящих продуктов сгорания путем максимальной утилизации их теплоты [7].

Высокие показатели энергоэффективности использования топлива в энерготехнологических установках с применением АПГ обусловило их широкое использование в различных отраслях промышленности. Большинство установок с смонтированными в них АПГ применяются для выпаривания агрессивных и кристаллизующихся растворов, термического обезвреживания сточных вод [8]. Научные разработки в этом направлении осуществлялись УкрНИИХИММАШем (Украина), Национальным техническим университетом Украины «Киевский политехнический институт» (Украина), Национальным техническим университетом «Харьковский политехнический институт» (Украина), Московским энергетическим институтом, Свердловским филиалом НИИХИММАШа (Россия).

В последние десятилетия в развитых странах прослеживается тенденция использования АПГ в качестве самостоятельных высокоэффективных теплогенерирующих устройств для производственных и коммунальных целей [5, 9–11]. Активно работают над созданием систем индивидуального обогрева зданий и сооружений на основе АПГ известные фирмы «Nordak» (Англия), «Ozark-Mahoning» (США), «Gas de France» (Франция и др.)

В государственном высшем учебном заведении «Украинский государственный химико-технологический университет» совместно с Институтом газа НАН Украины разработана контактно-модульная система (КМС) индивидуального обогрева зданий и сооружений различного назначения с применением низкоэмиссионных аппаратов погружного горения (АПГ) различной тепловой мощности [12].

3. Цель и задачи исследования

Цель исследований – разработка и исследование контактно-модульной системы с применением аппаратов погружного горения, отвечающей современным требованиям энергоэффективности и экологии для обогрева зданий жилого и промышленного назначения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Изготовить аппараты погружного горения, один из которых оборудован системой многократной инверсией контактирующих фаз, другой – устройством для модуляции колебаний контактирующих фаз.

2. Провести стендовые испытания изготовленных аппаратов с целью тестирования их на различных диапазонах тепловой нагрузки, определить энергоэффективность их работы и экологические показатели.

3. Выполнить монтаж контактно-модульной системы с испытанными аппаратами.

4. Определить и зафиксировать в рабочем регламенте режимно-технологические параметры устойчивой тепловой работы смонтированной и введенной в эксплуатацию контактно-модульной системы при различных соотношениях топлива – окислитель, с учетом минимальных расходов топлива и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

5. Выполнить сопоставительный анализ показателей энергоэффективности разработанной контактно-модульной системы с лучшими образцами конденсационных и водогрейных котлов ведущих мировых производителей.

6. На основе полученных данных исследований сертифицировать разработанную контактно-модульную систему на право применения в различных энерго-технологических системах промышленности и сельского хозяйства, а также для обогрева промышленных, сельскохозяйственных и жилых комплексов.

4. Описание объекта исследований

Разработанная КМС была введена в эксплуатацию для обогрева производственных помещений, принадлежащих ООО «Данверс» (г. Кривой Рог, Украина), специализирующегося на изготовлении промышленных металлоконструкций. Тепловая мощность КМС – 1 МВт (100 м³/ч потребляемого природного газа). Площадь обогреваемых помещений – 13000 м², высота – 8 м. Кроме обогрева производственных помещений эта же установка обеспечивает подогрев технической воды для промывочных ванн, объемом 150 м³ с температурой 45–60 °С для промывки изготавливаемых изделий после обработки в травильных ваннах.

С целью интенсификации процессов теплообмена, проходящих в КМС, один из установленных АПГ оборудовали системой организации многократной инверсии контактирующих фаз [13], другой – устройством для модуляции колебаний контактирующих фаз [14]. Кроме того, установку оборудовали дополнительным контактным теплообменником для утилизации теплоты отходящих продуктов сгорания путем частичного подогрева воды, поступающей из системы отопления (рис. 1).

КМС работает следующим образом: охлажденная вода из системы отопления через патрубок 6 поступает в емкость 1 с установленными в ней АПГ 2,3, разделенными водонепроницаемыми перегородками 5. Проходя поочередно через погруженные нагреватели 2,3, вода нагревается до температур 70–85 °С. Встроенные в КМС АПГ могут работать в автономном режиме, так и одновременно при повышенной нагрузке, когда работа только одного из них не обеспечивает требуемый подогрев и расход воды. Водонепроницаемые перегородки 5 установлены с целью предотвращения попадания охлажденной воды в зону забора АПГ и патрубков подачи воды в систему отопления 7.

Дымовые газы (II), охлажденные до 100–120 °С, поступают в теплообменник, где контактируют с встречным потоком обратной воды из системы (IV). В результате, температура уходящих продуктов сгорания понижается до 60 °С и ниже, что еще более повышает КПД установки. Горячая вода (III) направляется через патрубок 7.

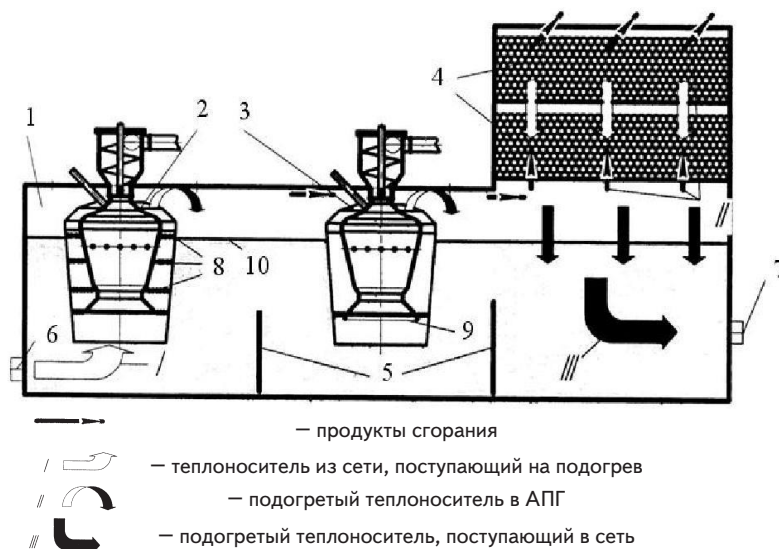


Рис. 1. Принципиальная схема контактно-модульной системы с аппаратами погружного горения для обогрева промышленных зданий и сооружений:
 1 – емкость, заполненная теплоносителем; 2 – АПГ с многократной инверсией контактирующих фаз; 3 – АПГ с модуляцией контактирующих фаз; 4 – теплообменный аппарат контактного типа; 5 – водонепроницаемая разделительная перегородка; 6 – подвод жидкости к КМС; 7 – выход подогретого теплоносителя; 8 – сепарационные решетки; 9 – реагирующее клапанное контактное устройство; 10 – уровень жидкости

5. Методика эколого-теплотехнических испытаний

С привлечением Республиканского сертификационного испытательного Центра отопительного оборудования (Киев, Украина) проведены государственные эколого-теплотехнические испытания данного устройства. Некоторые результаты испытаний внесены в табл. 1. Сопоставительный анализ результатов проведенных исследований разработанной системы обогрева (КМС) с лучшими образцами конденсационных котлов ведущих зарубежных производителей, приведен в табл. 2. Кроме того, в табл. 1 даны характеристики испытаний тепловой работы современного водогрейного котла бесконтактного нагрева Buderus Logano C334XZ (Германия), предназначенного для децентрализованного теплоснабжения, установленного на СТО автомобилей ЧП «Аэлита-Моторс» (г. Днепропетровск, Украина).

Таблица 1
 Результаты эколого-теплотехнических испытаний КМС с применением низкоэмиссионных АПГ и водогрейных котлов бесконтактного нагрева Buderus Logano C334XZ

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Фактическое	
			КМС на основе АПГ	Buderus Logano C334XZ
Нагрузка	%	–	96,4	106,0
Тепловая мощность	кВт	$Q_{п}$	615,0	98,2
Расход воды	м ³ /с	G	0,0046	0,0028
Расход газа по счетчику	м ³ /с	$V_{сч}$	0,0159	0,0030
Расход газа, приведенный к н. у.	нм ³ /с	$V_{п}$	0,0172	0,0031
Температура воды на входе в нагреватель	°С	$T_{вх}$	40,5	37,0
Температура газа, поступающего на горение	°С	$T_{г}$	20	20
Температура отходящих газов	°С	$T_{вых.г}$	53,2	168,0
Температура воздуха, поступающего на горение	°С	$T_{п}$	21,9	17,0
Температура воды на выходе из нагревателя	°С	$T_{вых}$	82	46
Давление газа на входе	МПа	$P_{вх}$	0,0000108	0,3300000
Давление газа перед счетчиком	кПа	$P_{гд}$	17,00	2,49
Давление газа перед горелкой	кПа	$P_{гп}$	12,500	1,344
Давление воздуха перед горелкой	кПа	$P_{пп}$	7,5	–
Давление в топке	кПа	$P_{т}$	7,52	–
Разрежение за нагревателем	Па	$P_{к}$	347,00	0,98
Содержание в сухих продуктах: кислорода	%	O_2	4,3	9,2
двуоксида углерода	%	CO_2	9,4	6,6
Содержание в сухих продуктах сгорания, приведенных к $\alpha=1$ и н. у. оксида углерода	мг/м ³	CO_2	48,2	47,4
оксидов азота	мг/м ³	NO_2	56,8	220,0
Коэффициент избытка воздуха	–	α	1,23	1,53
КПД по прямому балансу	%	$\eta_{пр}$	98,0	91,3

Таблица 2

Сопоставительный анализ показателей работы систем отопления с использованием АПГ и конденсационных котлов

Тип нагревательного устройства	$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	$\eta, \%$	Источник
КМС на основе аппаратов погружного горения с инверсией и модуляцией фаз	70	45	29	108,9	Показатели исследований
	82	53	40,5	98,0	
КМС на основе аппаратов погружного горения с комбинированной системой утилизации теплоты	85	55	35,4	107,5	[15]
	88	70	50,9	102,1	
Конденсационные котлы Ultra Gas AM codens (50)	26	23	–	109,2	[5]
	30	25	–	108,0	
	40	30	–	106,1	
Конденсационные котлы Ultra Gas AM codens (50)	40	30	–	109,4	[9, 10]
Конденсационный котел AFATEC Corolla	40	30	–	106,0	
	80	60	–	96,0	[11]

Примечание: $T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$ – температура воды на выходе из отопительной системы; $T_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$ – температура воды на входе в систему; $T_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$ – температура продуктов сгорания на выходе из отопительной системы.

Эколого-теплотехнические испытания проводились в соответствии с методическим пособием «Методическое пособие по проведению комплексных эколого-теплотехнических испытаний котлов, работающих на газе и мазуте», разработанным Институтом газа Академии наук Украины. Конечный результат проведения эколого-теплотехнических испытаний – установление режимных параметров работы котлов с учетом минимально возможных расходов топлива и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

6. Результаты исследований разработанной контактно-модульной системы и их сопоставительный анализ

Анализ данных, приведенных в табл. 1, указывает, что к достоинству установленной КМС на основе АПГ с инверсией и модуляцией колебаний контактирующих фаз прежде всего следует отнести высокий энергетический КПД – 98 % (по прямому балансу), или ~108,3 % (по отношению к низшей теплоте сгорания $Q_{\text{нр}}$), при высоком подогреве теплоносителя – 82 °C (при $T_{\text{вх}}=40,5$ °C). Это превышает на 2 % энергетический КПД конденсационных котлов AFATEC Corolla (табл. 2), использующих глубокую утилизацию теплоты продуктов сгорания. Известно, что с ростом температуры подогрева теплоносителя энергетический КПД процесса нагрева снижается, т. к. при этом повышается температура уходящих газов ($T_{\text{ух}}$). Например, энергетический КПД конденсационных котлов группы Ultra Gas AM codens (50) и Ultra Gas codens 500 при невысоком подогреве теплоносителя до 26–40 °C составляет 106–109 %. С ростом температуры подогрева теплоносителя до 80 °C их энергетический КПД понижается до 96 %, как показывают расчеты и показатели работы конденсационных котлов AFATEC Corolla. КМС на основе низкоэмиссионных АПГ с инверсией и модуляцией колебаний контактирующих фаз имеют преимущество в том, что при высоких температурах подогрева теплоносителя (70–80 °C) их энергетический КПД выше указанных котлов и составляет 102–108 % (по отношению к низшей теплоте сгорания).

При невысоком подогреве теплоносителя в водогрейных котлах Buderus Logano C334XZ 46 °C (при температуре теплоносителя на входе 37 °C) их энергетический КПД не превышает 91,3 %. С увеличением температуры подогрева теплоносителя до 60–70 °C следует ожидать падение их энергетического КПД до 70–80 %.

7. Обсуждение результатов выполненных исследований

Выполненные исследования на разработанной и введенной в эксплуатацию котельной установке доказали высокую энергетическую эффективность разработанной КМС при использовании их в системах отопления зданий и сооружений. Высокая энергетическая эффективность КМС на основе низкоэмиссионных АПГ в широком диапазоне температур нагрева водяного теплоносителя достигается за счет:

- использования теплоты конденсации влаги продуктов сгорания;
- оптимизации температурного режима системы;
- выбора оптимальных температур теплоносителя на входе и выходе из установки;
- обеспечения эффективного тепломассообмена применением многократной инверсии и модуляции контактирующих фаз (продукты сгорания – нагреваемая жидкость);
- достижения полной автоматизации ведения и контроля теплового режима работы КМС;
- обеспечения низких показателей вредных веществ в отходящих газах.

Разработанная и апробированная КМС по эффективности не уступает лучшим аппаратам конденсационных котлов ведущих мировых производителей, а по показателям топливоиспользования – превосходит.

8. Выводы

Разработана, введена в эксплуатацию и исследована отопительная контактно-модульная система, оборудованная низкоэмиссионными аппаратами погружного горения, установленной тепловой мощностью 200–2000 кВт и выше (в зависимости от потребности в генерируемой теплоте).

На практике доказана возможность работы в одном отопительном модуле двух и более АПГ с многократной инверсией и модуляцией контактирующих фаз. Это позволяет практически обогревать объекты промышленного или жилого комплексов разных площадей и объемов.

Разработанная контактно-модульная система характеризуется высокой энергоэффективностью, экономичностью, простотой эксплуатации и отвечает современным требованиям экологии по выбросам. Расходы на обогрев зданий и сооружений при использовании разработанной контактно-модульной системы снижаются по сравнению с традиционными действующими системами обогрева отечественных и зарубежных производителей.

Разработанная контактно-модульная система прошла государственные тепло-эколого-технологические испытания. Получены технические условия на серийное ее изготовление и эксплуатацию в различных отраслях хозяйства.

Литература

1. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л. Л. Основы энерготехнологии промышленности [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, О. Б. АНИПКО, В. А. МАЛЯРЕНКО. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – 436 с.
2. Алабовский, А. Н. Аппараты погружного горения [Текст] / А. Н. Алабовский, П. Г. Удыма. – Москва: МЭИ, 1994. – 256 с.
3. Иванов, А. Через невозможное [Текст] / А. Иванов // Всеукраинская техническая газета. – Киев, 2004. – № 21.
4. Guillet, R. Vapor pump and condensing heater [Text] / R. Guillet // Gas Warme International. – 1991. – Vol. 40, № 6. – P. 248–252.
5. Наер, J. Kompakte Brennwertkessel auch bis 250KW [Text] / J. Наер, M. Nani // Gas Warme International. – 1999. – Vol. 48, № 6. – P. 365–369.
6. Падерно, Д. Ю. Интенсификация процессов очистки газов и тепломассообмена в контактных теплоутилизационных аппаратах с использованием активной ленточной насадки [Текст] / Д. Ю. Падерно, А. И. Сигал, А. В. Мележик // Труды IX Межгосударственной конференции "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". – К.: Институт промышленной экологии, 1999. – С. 39–42.
7. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л. Л. Теплоэнергетика погружного горения в решении проблем теплоснабжения и экологии Украины [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л. П. ПЕРЦЕВ, В. П. ШАПОРЕВ и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2004. – № 3. – С. 3–12.
8. Сорока, Б. С. Аппараты погружного горения для эффективного контактного нагрева жидкостей [Текст] / Б. С. Сорока, А. С. Лукьянчиков, В. Е. Никольский, В. Ю. Никитин. – М.: ВНИИЭГазпром, 1989. – 56 с.
9. Наер, J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 1 [Text] / J. Наер, M. Nani // Gas Warme International. – 2000. – Vol. 49, № 4/5. – P. 228–233.
10. Наер, J. Kompakte Brennwertkessel bis 1000KW-Teil 2 [Text] / J. Наер, M. Nani // Gas Warme International. – 2000. – Vol. 49, № 11. – P. 577–579.
11. More Efficiency, Less Pollution [Text]. – Corolla Paek, AFATEC: Promotional material, Marzo, 1997. – 7 p.
12. ТУ У 29.7-02070758-001:2008. Универсальный нагреватель технологических жидкостей УНТЖ-101.01. Техническое описание [Текст]. – Днепрпетровск, 2008.
13. Апарат зануреного згорання [Текст]: Рішення на видачу Пат. № 6195/ЗУ/15 Україна / Нікольський В. С., Задорський В. М. – від 15.04.2015.
14. Апарат зануреного згорання для випарювання рідини [Текст]: Рішення на видачу Пат. №6184/ЗУ/15 Україна / Нікольський В. С., Задорський В. М. – від 15.04.2015.
15. Сорока, Б. С. Система децентрализованного теплоснабжения на основе аппаратов погружного горения: термодинамический анализ пути совершенствования [Текст] / Б. С. Сорока, П. Шандор, К. Е. Пьяных, Д. В. Андриенко // Пром. теплотехника. – 2001. – Т. 23, № 3. – С. 112–119.