

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ КПД КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ЗА СЧЕТ ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Вопросы энергосбережения и рационального энергоиспользования являются как никогда актуальными в стратегии развития энергетики и промышленности России. Цель данной работы - повышение эффективности использования теплоты сгорания топлива путем разработки и исследования способа глубокой утилизации теплоты уходящих газов водогрейного котла с использованием теплового насоса. В качестве холодного источника выбрана обратная сетевая вода, поступающая в испаритель теплонасосной установки из системы отопления с теплыми полами. Разработана схема утилизации теплоты уходящих газов котельного агрегата с использованием теплонасосной установки. Проведены расчеты по полученной математической модели работы котельного агрегата. Установлено, что утилизация теплоты уходящих газов обеспечивает прирост КПД котельного агрегата, работающего на газовом топливе в размере 5,3%.

Ключевые слова: утилизация теплоты уходящих газов, обратная сетевая вода, теплонасосная установка.

Современный этап развития энергетики определяется возросшей стоимостью энергоносителей и всех видов природных ресурсов, а также всё больше увеличиваются требования к защите окружающей среды от вредных выбросов в атмосферу, таких как оксиды азота и углекислоты. Всё это определило приоритетными направлениями развития следующих исследований в энергетике - совершенствование энергетических технологий, энергосбережение, снижение потребления топлива, охрана окружающей среды.

Технические науки

Решением проблемы энергосбережения и охраны окружающей среды является глубокая утилизация теплоты уходящих газов в котлах небольшой и средней мощности путем охлаждения их до температуры точки росы. При этом выделяется большое количество низкопотенциальной теплоты как за счет охлаждения продуктов сгорания топлива (физическая теплота), так и за счет конденсации из них водяных паров (латентная теплота).

Важно заметить, что утилизация теплоты уходящих газов наиболее перспективна для котлов, работающих на природном газе [2, 3]. Уголь и мазут имеют в своем составе сернистые соединения, поэтому при их сжигании в продуктах сгорания содержатся сернистые ангидриды, которые в условиях конденсации водяных паров приводят к сернокислотной коррозии.

При внедрении технологий глубокой утилизации теплоты уходящих газов улучшаются экологические показатели котельных за счет снижения выбросов теплоты, оксидов азота и углекислоты в окружающую среду.

Необходимо отметить, что глубокое охлаждение продуктов сгорания топлива имеет свои специфические особенности [3]:

1) При выборе величины температуры уходящих газов следует руководствоваться условиями работы газоотводящих трактов котельных. При снижении температуры уходящих газов до 60–80°C будет происходить конденсация водяных паров в дымососе, газоходах и дымовой трубе, что неизбежно приведет к разрушению последних. Так как при вышеприведенных значениях температур уходящих газов увеличение КПД котлов составляет 3–5%, но не используется скрытая теплота конденсации водяных паров (поскольку она происходит за пределами котла и утилизационного теплообменника), следует либо ограничиться охлаждением уходящих газов до температуры 95–100°C, либо охладить газы до температур, лежащих ниже точки росы, в среднем она составляет 55–60°C.

2) При утилизации низкопотенциальной теплоты использование теплообменных аппаратов традиционных конструкций приводит к площади теплообменной поверхности, соизмеримой с поверхностями котельного агрегата [4]. Поэтому возникает необходимость в максимально возможном снижении габаритов, ма-

Технические науки

териалоемкости, и соответственно стоимости теплоутилизационного аппарата, что удастся обеспечить лишь при наличии большой теплообменной поверхности в единице объема (радиально-спиральный пластинчатый теплообменник) и высоких значений коэффициентов теплообмена (использование оребренных труб).

3) Обязательным условием обеспечения глубины утилизации продуктов сгорания топлива является выбор рациональной системы теплоиспользования [5]. В связи с выделением в процессе конденсации водяных паров из продуктов сгорания топлива большого количества низкопотенциальной теплоты, количество нагреваемого теплоносителя может во много раз превышать потребность в нем, а температура может быть ниже необходимой (ниже точки росы). В общем случае физическая теплота продуктов сгорания топлива и теплота конденсации водяных паров из них может быть использована в системах отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и т.д.

В соответствии с приведенными выше характерными особенностями процессов глубокой утилизации теплоты уходящих газов разработка технологий их охлаждения ниже температуры точки росы связана с необходимостью решения ряда достаточно сложных [1], а именно:

- выбор наиболее рациональной технологической схемы утилизации теплоты уходящих газов из котла;
- выбор вида и типа теплоутилизационного оборудования, обладающего высокой экономичностью и большой удельной теплообменной поверхностью с целью достижения низких массогабаритных и стоимостных характеристик;
- выбор типа, температур и расходов нагреваемых теплоносителей;
- обеспечение защиты теплоутилизационного оборудования, тягодутьевых устройств, газоотводящего тракта и дымовой трубы от коррозии и разрушения;
- выбор или разработка достаточно надежных методов расчета тепломассобмена в условиях конденсации водяных паров из парогазовых смесей с большим содержанием неконденсирующихся газов и теплообмена в бесконденсационном режиме эксплуатации.

Технические науки

В ходе работы была разработана и рассчитана система теплоснабжения для микрорайона с однотипными восьмиэтажными домами с частичным отоплением с помощью теплых полов [1]. Использование зависимой схемы подключения контуров низкотемпературной системы с напольными отопительными панелями, позволяет исключить дополнительные температурные напоры в разделительном теплообменнике и, тем самым, дополнительно снизить температуру обратной сетевой воды, подаваемой в испаритель теплонасосной установки. Так для максимально-зимнего режима (для г. Кирова расчетная температура наружного воздуха составляет -33°C) температура обратной сетевой воды на входе в систему «теплый пол» составляет $62,84^{\circ}\text{C}$, температура теплоносителя в низкотемпературной системе отопления составляет 35°C . Температура обратной сетевой воды на выходе из напольной системы отопления составляет 26°C . Таким образом, температура обратной сетевой воды, возвращаемой на источник тепла составляет $51,67^{\circ}\text{C}$.

Разработана принципиальная схема утилизации теплоты уходящих газов (рис. 1).

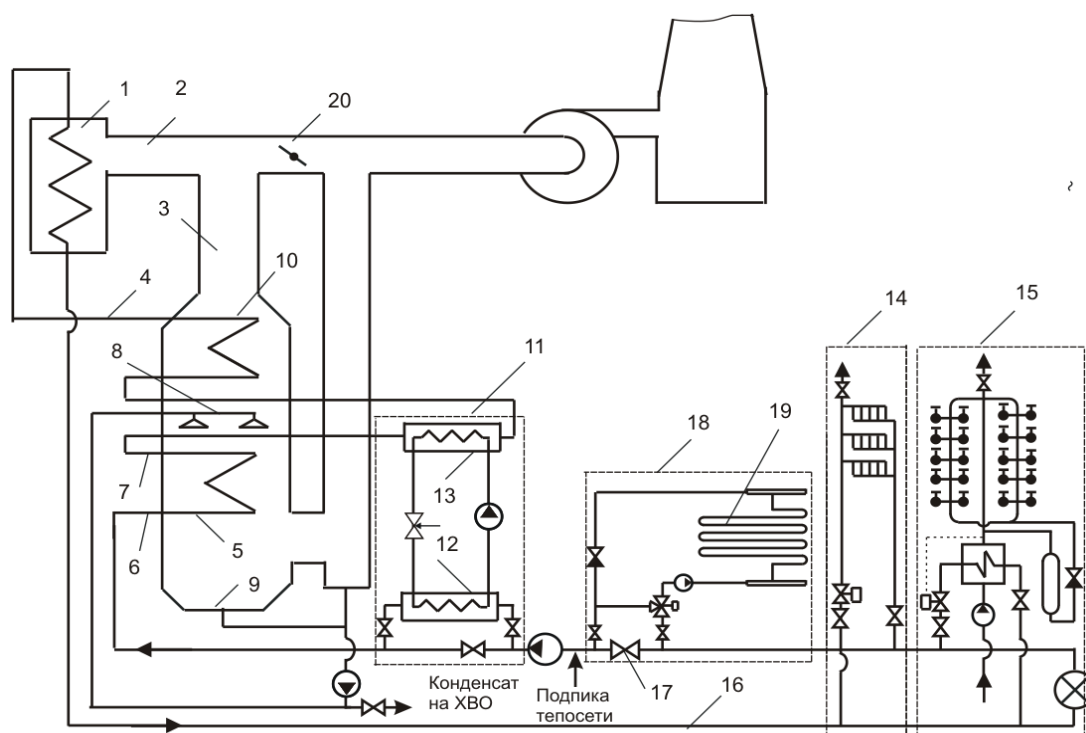


Рис. 1. Принципиальная схема утилизации теплоты уходящих газов

Технические науки

Система теплоснабжения содержит водогрейный котел 1 с основным газоходом 2 и присоединенный к нему байпасный газоход 3, в котором установлены последовательно подключенные к обратному трубопроводу 4 тепловой сети конденсирующий теплообменный аппарат 5 с входным и выходным патрубками 6 и 7, снабженный соединенными между собой оросителем 8 и поддоном 9, и водяной экономайзер 10. На обратном трубопроводе тепловой сети 4 установлен тепловой насос 11, испаритель 12 и конденсатор 13, которого подключены соответственно к входному 6 и выходному 7 патрубкам аппарата 5. Система теплоснабжения содержит контуры потребителей теплоты отопления 14 и горячего водоснабжения 15, подключенных к прямому 16 и обратному 4 трубопроводам сетевой воды, причём к трубопроводу 4 через разделительную запорную арматуру 17 по зависимой схеме присоединена низкотемпературная система отопления 18, с напольными отопительными панелями 19. В основном газоходе 2 между входом и выходом байпасного газохода 3 установлена шиберная заслонка 20. Система работает следующим образом. Сетевая вода из котла 1 по трубопроводу 16 подается в контуры отопления 14 и горячего водоснабжения 15 и после них при температуре 62,84 °С поступает в обратный трубопровод 4 сетевой воды. Далее сетевая вода из обратного трубопровода, имеющая выше указанные температурные параметры, при закрытой арматуре 17 поступает в низкотемпературную систему отопления 18, где отдает свою тепловую энергию теплоносителю, циркулирующему через напольные отопительные панели 19 «Теплый пол». При этом температура сетевой воды на выходе из системы 18 будет иметь значения 51,67°С. Далее по трубопроводу 4 сетевая вода поступает в испаритель 12 теплового насоса 11, где отдает свою тепловую энергию хладону R 134а, циркулирующему в контуре теплового насоса 11, охлаждается до температуры 45,1°С и подается во входной патрубок 6 конденсирующего теплообменного аппарата 5, поверхности теплообмена которого, при закрытой частично или полностью шиберной заслонке 20 и полностью открытых шиберных заслонках 21 и 22, омываются уходящими газами котла, имеющими точку росы около 60°С. Вследствие разно-

Технические науки

сти температур сетевой воды и уходящих газов на поверхностях теплообмена аппарата 5 происходит интенсивная конденсация водяных паров, теплота которой передается сетевой воде. С целью интенсификации процесса конденсации в газопровод 3 перед конденсирующим теплообменным аппаратом 5 через оросители 8 из поддона 9 в газовый поток подается конденсат. Нагретая в аппарате 5 сетевая вода с температурой $52,3^{\circ}\text{C}$ через выходной патрубок 7 подается в конденсатор 13 теплового насоса 11, где нагревается хладагентом до $60,3^{\circ}\text{C}$ и далее направляется через экономайзер 9 котел 1. В случае необходимости повышения температуры уходящих газов приоткрывают заслонку 20 и подают часть уходящих газов помимо байпасного газопровода 3. На рисунке 2 представлена схема процесса в теплонасосной установке.

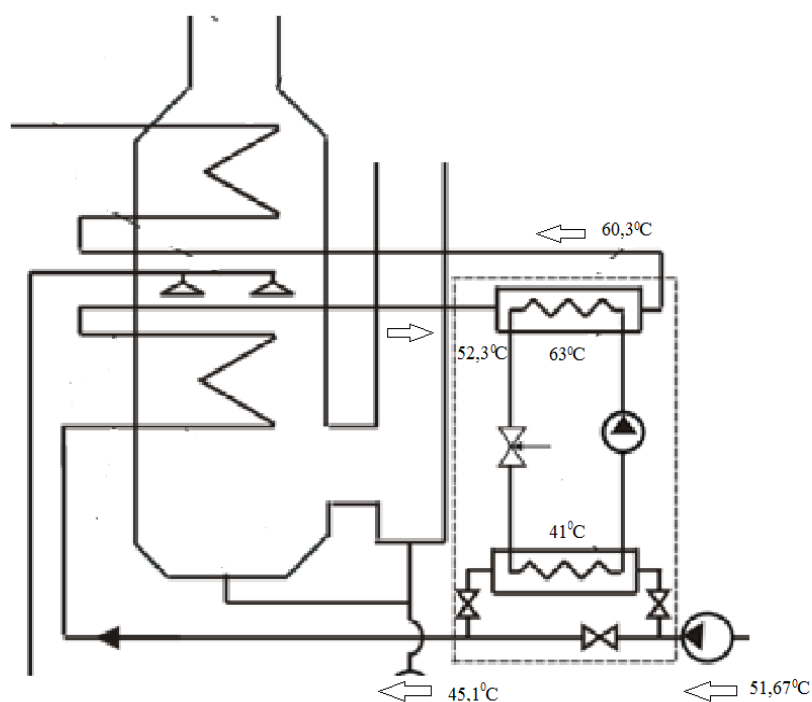


Рис. 2. Схема процесса в ТНУ

Авторами проведен расчет тепловой схемы котельной с водогрейными котлами, работающими на закрытую систему теплоснабжения, выбраны 4 котла марки Lavart 600R. Произведен также расчет объемов продуктов сгорания природного газа котла и определены энтальпии продуктов сгорания природного газа и воздуха. Рассчитан тепловой баланс котла Lavart 600 R.

Технические науки

С помощью позонного метода расчета определена суммарная площадь экономайзера-утилизатора, 100 м². Определена температура уходящих газов на выходе из утилизирующего экономайзера, 54,4 °С. Основные параметры водогрейного котла представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры работы водогрейного котла

Q _{ка} /Q _{ном} , %	100% (максимально-зимний режим)	
	Без утилизации	С утилизацией
η _{ка} , %	92,63	97,93
V _р , м ³ /с	0,0368	0,0344
t'' _{ух} , °С	160	54,4

В таблице 1:

Q_{ка} – тепловая производительность котельного агрегата, Вт;

Q_{ном} – номинальная тепловая производительность котельного агрегата, Вт;

η_{ка} – КПД брутто котельного агрегата, %;

V_р – расчетный расход топлива, м³/с;

t''_{ух} – температура уходящих газов на выходе из котла-утилизатора, °С

Таким образом, в работе предложено решение важных задач по энергосбережению в области коммунальной теплоэнергетики и получены следующие основные результаты:

1) подтверждено, что одним из перспективных путей решения проблемы ресурсосбережения является экономия топливно-энергетических ресурсов за счет использования теплоты конденсации водяного пара при глубоком охлаждении уходящих из котлов газов;

2) разработана универсальная математическая модель теплоутилизационной системы «котел – теплоутилизаторы – тепловой насос», основанная на достоверных методах расчета теплообмена и массообмена;

Технические науки

3) установлено, что при разработке утилизационной системы оценку эффективности ее работы следует осуществлять по повышению КПД котельного агрегата;

4) подтверждена целесообразность применения низкопотенциальной отопительной системы «теплый пол», способствующей снижению температуры обратной сетевой воды;

5) установлено, что в принятых для расчета граничных условиях утилизация теплоты уходящих газов обеспечивает прирост среднегодового КПД котельного агрегата, работающего на газовом топливе, в размере 5,3%.

Список литературы

1. *Попова Е. С., Чайникова М. А., Шемпелев А. Г.* Способы утилизации потерь теплоты с уходящими газами водогрейной котельной за счет снижения температуры обратной сетевой воды // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : сб. материалов Всерос. студ. олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 16–19 декабря 2014 г. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – С. 199–201.

2. *Портной М. Ф., Клоков А. А.* Использование тепла продуктов сгорания котлов, работающих на газообразном топливе // Промышленная энергетика. – 1985. – № 6. – С. 11–12.

3. *Климов Г. М.* Повышение эффективности использования природного газа // Промышленная энергетика. – 1975. – № 8. – С. 20–22.

4. *Баскаков А. П.* Реальные возможности повышения энергетической эффективности газовых отопительных котельных / А. П. Баскаков, В. А. Мунц, Н. Ф. Филипповский, Е. В. Черепанова // Промышленная энергетика. – 2005. – № 9. – С. 22–26.

5. *Дьяков А. Ф.* Комплексные системы теплоутилизации и газоочистки на паровых и водогрейных котлах / А. Ф. Дьяков, В. С. Варварский, А. Е. Свичар, И. З. Аронов, В. Б. Павловский, С. В. Ажимов // Теплоэнергетика. – 1992. – № 11. – С. 50–55.

Технические науки

ПОПОВА Екатерина Сергеевна – студентка группы ТиТм-1801-01-00,
Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: ekaterina_popova_1993@list.ru

ШЕМПЕЛЕВ Александр Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: agshem@mail.ru