

УДК 621.1, 621.59, 621.697

## УСТРОЙСТВО С КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ И СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Магистр техн. наук КАЩЕЕВА О. В.<sup>1)</sup>, инж. ВОРОНОВ Е. О.<sup>2)</sup>,  
канд. техн. наук КАЩЕЕВ В. П.<sup>3)</sup>, инж. ЖИДОВИЧ И. С.<sup>3)</sup>,  
докт. техн. наук СОРОКИН В. Н.<sup>3)</sup>, студ. КЛИМЕНКОВА О. Л.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> *Университет Штутгарта (IGE),*

<sup>2)</sup> *РУП «Минскэнерго»,*

<sup>3)</sup> *Белорусский национальный технический университет*

Исследование относится к области утилизации теплоты и уменьшения вредных выбросов, возникающих в жилых зданиях и сопровождающих работу большого количества промышленных предприятий, в частности теплоэнергетических объектов, прежде всего теплогенерирующих установок малой мощности, расположенных в густонаселенных жилых районах, не имеющих централизованного теплоснабжения.

При сгорании органического топлива в котельных или других теплогенерирующих установках образуются значительные количества вредных веществ. К ним, прежде всего, относятся: оксид углерода СО, сернистый ангидрид SO<sub>2</sub>, оксиды азота NO и NO<sub>2</sub>, пятиокись ванадия, бенз(а)пирены, сажа, пыль [1].

Для охраны здоровья людей, сохранения животного и растительного мира установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК) в атмосферном воздухе, которые являются практически безвредными для людей, животных, растительности. Для того чтобы не были превышены ПДК вредных веществ на уровне дыхания, требуется уменьшение их концентраций в дымовых газах на четыре порядка (примерно в 10 тысяч раз) [1]. Такую степень очистки дымовых газов по оксидам серы, в частности, нельзя обеспечить ни одним известным промышленным способом: лучшие сероулавливающие установки могут снизить концентрацию лишь в 10–20 раз [2]. Поэтому природоохранные мероприятия на ТЭС для снижения концентрации вредных веществ включают две обязательные стадии – очистку в возможных пределах дымовых газов в газоочистных устройствах и последующее рассеивание остаточных вредностей за счет турбулентной диффузии при размешивании в больших объемах атмосферного воздуха. Наилучшее рассеивание вредных веществ в атмосфере достигается при отводе всех дымовых газов через одну трубу. Дымовая труба ТЭС представляет собой сложное и дорогостоящее сооружение [3]. Чтобы не было выпадения жидкой фазы в самой трубе или вблизи ее, температуру уходящих дымовых газов держат высокой (110–120 °С – при работе на природном газе; 160–180 °С – при работе на высокосернистом мазуте). Отсюда большие потери теплоты – тепловое загрязнение окружающей среды.

Известно устройство для очистки воздуха от вредных веществ, образуемых при сварочных работах [4]. Оно содержит отсасывающее приспособление, блок производства сжатого воздуха и водного аэрозоля, очищающие фильтры. При этом воздух с вредными веществами отсасывают из зоны сварки, смешивают его со сжатым воздухом и водным аэрозолем, затем переме-

щают полученную смесь через фильтры из произвольно ориентированной в пространстве литой стружки из нержавеющей материалов и обожженного при температуре 1000–1200 °С порошкового диатомита.

Это приспособление дорогостоящее, так как требуется система получения сжатого воздуха, аэрозоля, к тому же оно применимо только при малых количествах вредных веществ.

Известно устройство для очистки вентиляционных выбросов от продуктов неполного сгорания газов и кухонных выделений (запахи, копоть, жировые частицы, микробы и др.) [5], включающее ионизирующее устройство, систему увлажнения газов, блок дросселирования и удаления осевших частиц.

Очистку в устройстве производят путем зарядки взвешенных в вентиляционных выбросах частиц, их последующего осаждения на электродах. При этом осуществляется одновременно контактное инерционное осаждение взвешенных заряженных частиц и насыщение (обогащение парами воды) вентиляционных выбросов на поверхности воды с нанесенным поверхностно-активным веществом (т. е. обладающим свойствами обычного мыла или стирального порошка) благодаря созданию дополнительного аэродинамического сопротивления в электростатическом поле.

Недостатком этого устройства является малая емкость фильтров, что приводит к их частой замене и значительно удорожает установку. Насыщение воздуха парами воды улучшает качество удаления вредных веществ и кухонных запахов, но сокращает поглотительную емкость фильтров, что еще более удорожает установку. Теплота вентиляционных выбросов не используется, а загрязняет окружающую среду.

Также известно устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу, содержащее теплообменники, блоки очистки и нейтрализации вредных и пахучих веществ, вентиляторы для подачи вентиляционных выбросов, дымосос для транспортирования дымовых газов, связывающие их трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой [6].

Устройство имеет теплогенерирующую установку с котлами, теплообменник для отвода теплоты от продуктов сгорания, блок для очистки последних поглотительным раствором, агрегат для утилизации теплоты очищенных продуктов сгорания с выделением из них конденсата водяных паров и поддержанием заданной концентрации поглотителя в рециркуляционном потоке, связывающие их трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой. В котле при этом топливо горит в среде увлажненного дутьевого воздуха. Газы удаляют в атмосферу под напором лопаточного нагнетателя через последовательно расположенные водяной экономайзер, контактно-поверхностный экономайзер, осушитель, рекуперативный газоподогреватель, где повышают их температуру выше температуры точки росы, и дымовую трубу. Воздух, подогретый и увлажненный в контактно-поверхностном воздухоподогревателе, подают вентилятором в топку в количестве, необходимом для сжигания топлива. Особенностью данного устройства по сравнению с традиционными является то, что в цикл введена вода с целью понижения температуры горения топлива для уменьшения образования окислов азота и лучшего выделения вредных веществ, переводя часть из них в жидкую фазу при охлаждении дымовых газов в контактно-поверхностном экономайзере. Также

отличием является то, что в дымовые газы введен воздух, для того чтобы кислородом, содержащимся в нем, окислить монооксиды углерода и азота и перевести их в диоксиды, а сернистый ангидрид – в серный.

Существенным недостатком указанного устройства является значительное удорожание производимой котельной установкой продукции – теплоты. Даже простое удаление вредных веществ из дымовых газов пропусканьем их через водоизвестковый раствор, как это делают во Франции, существенно удорожает производимую на таких ТЭС электроэнергию (примерно в два раза).

Задачей исследования является удешевление теплоты, производимой автономной системой теплоснабжения зданий, уменьшение загрязнения атмосферы от вредных газовых выбросов и снижение теплового загрязнения окружающей среды при работе систем вентиляции зданий, вентиляции их внутренней и наружной канализационной сети, повышение надежности их работы.

Поставленная задача достигается тем, что устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу, содержащее теплообменники, блоки очистки и нейтрализации вредных и пахучих веществ, вентиляторы для подачи вентиляционных выбросов, дымосос для транспортировки дымовых газов, связывающие их трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой, дополнительно содержит сборную емкость для смешения дымовых газов, вентиляционных выбросов и атмосферного воздуха и тепловой насос. Испарительная зона теплового насоса является холодильником полученной смеси газов, а через его конденсатную зону проходит линия теплоснабжения потребителя теплоты, снабженная собирающим и раздающим коллекторами, трубопроводом для связи этой линии теплоснабжения с системой прямой и обратной сетевой воды из котельной. Установка имеет сепаратор для разделения жидкой и газообразной фаз смеси, нейтрализующие устройства для раздельного снижения концентраций вредных и пахучих веществ, находящихся в выделенных газообразной и жидкой частях смеси, трубопровод для периодической подачи в топку котла воздуха с повышенной концентрацией вредных и пахучих веществ, полученного при пропуске его через газовые фильтры при их регенерации после исчерпания их обменной емкости.

Также устройство дополнительно содержит исполнительно-аналитический комплекс для определения количества атмосферного воздуха, необходимого для добавления в смесь газов, подающий команду исполнительным органам для осуществления этого, устанавливающий, что пора регенерировать фильтры, т. е. нужно выключать основные фильтры и включать резервные и т. д. При этом оно имеет датчики для определения нужных параметров сред, их расходов, концентраций вредных веществ.

При работе устройства в сборной емкости – узле для смешения дымовых газов, вентиляционных выбросов и атмосферного воздуха дымовые газы смешивают с вентиляционными выбросами и атмосферным воздухом, а в тот период, когда не работают котлы или другие теплогенерирующие устройства на органическом топливе, а работают электро- или другие нагреватели, смешивают вместе вентиляционные выбросы и атмосферный воздух, образовавшаяся смесь газов охлаждают, пропуская ее через холодильник – зону охлаждения – испарительную зону теплового насоса. Затем в сепараторе для разделе-

ния жидкой и газообразной фаз смеси разделяют сконденсировавшиеся и несконденсировавшиеся компоненты последней, очистку полученных фракций производят отдельно в своих нейтрализующих устройствах, воздух с повышенной концентрацией вредных и пахучих веществ, полученный при пропуске его через газовые фильтры при их регенерации после исчерпания обменной емкости, подают по трубопроводу в топку котла для нейтрализации. Очищенную газовую смесь выбрасывают в атмосферу, нейтрализованные жидкие вещества направляют в канализацию. В отопительном периоде для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения используют теплоту дымовых газов, вентиляционных выбросов и окружающего атмосферного воздуха и энергию, выделяющуюся в тепловом насосе и электро- или других нагревателях, если они есть и работают. В межотопительный период для горячего водоснабжения используют теплоту вентиляционных выбросов и окружающего атмосферного воздуха и энергию, выделяющуюся в тепловом насосе и электро- или других нагревателях, если они есть и работают. Команды для подачи в смесь определенного количества атмосферного воздуха, для регенерации фильтров, включения и отключения исполнительных органов, изменения расходов сред, мощностей подают при помощи исполнительно-аналитического комплекса.

При смешении газов атмосферный воздух добавляют в таких количествах, чтобы температура образовавшейся смеси находилась в интервале (7,5–20) °С, так как это позволяет применять надежные и дешевые тепловые насосы. При использовании другого интервала температур стоимость установки возрастает. В испарительной зоне теплового насоса смесь газов охлаждают на (5–15) °С, так как это позволяет обеспечить оптимальный режим работы указанных тепловых насосов, что повышает эффективность их работы, т. е. КПД, удлиняет межремонтный период, удешевляет их эксплуатацию. После исчерпания обменной емкости газовых фильтров-поглотителей их регенерируют, пропуская через них теплый воздух с температурой (50–70) °С, а затем этот воздух с повышенной концентрацией вредных и пахучих веществ подают в топку котла для нейтрализации. При меньшей температуре процесс регенерации происходит слишком медленно, а при большей – нужно использовать дорогостоящие устройства. Причем, затрачивая 1 кВт электроэнергии, тепловой насос производит 3–4 кВт тепловой энергии.

В предлагаемом устройстве – системе для снижения загрязнения атмосферы при работе вентиляции, канализации и автономной системы теплоснабжения зданий по сравнению с прототипом положительный эффект достигается за счет того, что технологическая схема значительно упрощена. Это повышает ее надежность, значительно удешевляет, так как не нужно подогревать дымовые газы перед их выбросом в дымовую трубу, уменьшены потери теплоты. Наоборот, их охлаждают, а теплота может быть использована для горячего водоснабжения или других целей. Концентрация вредных веществ в выбрасываемых газах понижена до ПДК, поэтому труба может быть небольшой, типа обычной вентиляционной, и при установке на крыше жилого дома не портит его вид, стоит дешево. В прототипе же у котельной должна быть высокая дымовая труба. Если используемая котельная «крышная» (т. е. на чердаке здания находится котель-

ная-автомат, как это принято на Западе), то высокую дымовую трубу не всегда можно соорудить в городе при плотной застройке, к тому же такая труба стоит дорого.

На рис. 1 показана принципиальная схема реализации предлагаемого устройства.

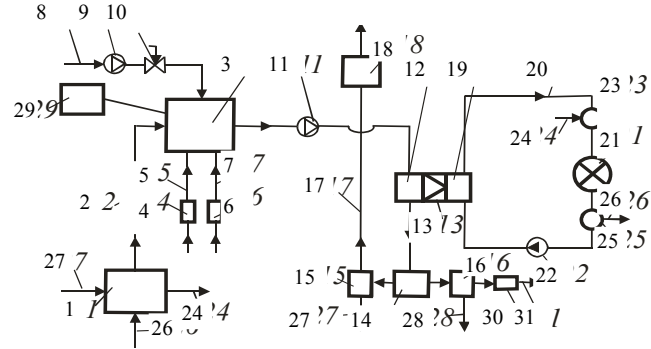


Рис. 1. Устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу

Схема включает котельную 1 с водогрейными котлами, линию подачи 2 дымовых газов котельной в сборную емкость 3 для газообразных выбросов, систему вентиляции 4 здания, линию подачи 5 вентиляционных выбросов системы в емкость, систему 6 вентиляции канализационной (внутренней и наружной) сети здания и линию 7 для отвода ее продукции в сборную емкость, линию 8 подачи в емкость атмосферного воздуха с вентилятором 9 и регулирующим устройством 10, вентилятор 11 для подачи созданной смеси газов и паров в холодильный – испарительную зону 12 теплового насоса 13, сепаратор 14 для разделения жидкой и газообразной фаз смеси (блок разделения газообразной и жидкой фракций) после охлаждения смеси, очистное устройство 15 для обезвреживания газообразных фракций смеси, очистное устройство 16 для нейтрализации жидких фракций смеси, линию 17 подачи очищенных газов в дымовую трубу 18 с дымососом, конденсатную зону 19 теплового насоса 13, через которую проходит линия 20 теплоснабжения потребителя 21 теплоты, имеющая водяной насос 22, собирающий коллектор 23 для смешения горячей воды из котельной (прямая сетевая вода) с линией 24 для осуществления этого, раздающий (распределительный) коллектор 25 с линией 26 подачи для подачи в котельную части воды, охлажденной потребителем теплоты (обратная сетевая вода). Система оборудована линией 27 подачи в котельную, в топку котла воздуха с повышенной концентрацией вредных и дурно пахнущих веществ после регенерации им обменной емкости очистного устройства газовых фильтров, линией 28 для транспортирования нейтрализованных жидких веществ в канализацию. Система имеет исполнительно-аналитический комплекс 29. Также она оборудована блоком 30 для выделения и обезвреживания из жидких отходов твердых фракций (сажи, шлама и т. д.) с линией 31 для транспортирования их в мусоросборник.

Предлагаемая система работает так. В сборную емкость по линии 2 дымососом подают дымовые газы из котельной, вентилятором по линии 5 – вентиляционные выбросы жилых домов, по линии 7 – внутренней и наружной ка-

нализационной сети или промышленных предприятий, по линии 8 – атмосферный воздух. В образовавшейся смеси достаточно влаги, так как вентиляционные выбросы жилых домов содержат ее около 80 %, а их внутренней и наружной канализационной сети – около 100 % влаги. Причем количество вентиляционных выбросов жилых зданий примерно в четыре раза больше количества дымовых газов, а объем вентиляционных выбросов канализационной сети составляет примерно 1 % от объема бытовых вентиляционных выбросов. Влага есть и в дымовых газах (при сгорании газового топлива). Поэтому специально добавлять воду в образовавшуюся смесь газов не нужно. Как известно, для окисления оксидов в диоксиды нужен кислород. В вентиляционных выбросах кислород имеется в количествах, достаточных для окисления оксидов дымовых газов, если просто смешать дымовые газы котельной жилого дома и выбросы его вентиляции и канализационной сети. Добавление в смесь газов атмосферного воздуха позволяет уменьшить в выбрасываемых в атмосферу газах концентрации тех вредных веществ, которые трудно- или почти неуловимы простыми способами. Образовавшуюся смесь пропускают через испарительную зону теплового насоса, где происходит ее охлаждение ниже точки росы. Это приводит к конденсации части влаги. Большая часть вредных веществ переходит в эту сконденсировавшуюся влагу (почти все кислоты, углеводороды, формальдегиды, сажа и т. д.). Затем в узле-сепараторе разделяют сконденсировавшиеся и несконденсировавшиеся компоненты смеси. Очистку полученных фракций производят отдельно (газов – в очистном устройстве 15, жидкостей – в очистном устройстве 16), что ее значительно упрощает и удешевляет – кислоты можно нейтрализовать щелочью, газы можно очистить на различных фильтрах. Очищенная газовая смесь выбрасывается в атмосферу по линии 17, нейтрализованные жидкие вещества направляют в канализацию по линии 28. Так как в выбрасываемых в атмосферу газах после очистки концентрации вредных веществ не превышают ПДК, к тому же они имеют низкую температуру (порядка 2–15 °С) и в них нет агрессивных веществ, способных разрушать газовый тракт, то эти газы можно удалять в атмосферу через обычную вентиляционную трубу или же через вытяжную дымовую трубу высотой 3–6 м. В отопительный период для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения используют теплоту дымовых газов, вентиляционных выбросов и окружающего атмосферного воздуха и энергию, выделяющуюся в тепловом насосе, а в межотопительный период для горячего водоснабжения – теплоту вентиляционных выбросов, окружающего атмосферного воздуха и энергию, выделяющуюся в тепловом насосе. Тепловой насос повышает температурный уровень низкопотенциальной теплоты, что позволяет использовать его для горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий.

Команды для подачи в смесь определенного количества атмосферного воздуха, для регенерации фильтров, включения и отключения исполнительных органов, изменения расходов сред, мощностей дает исполнительно-аналитический комплекс, анализирующий текущую ситуацию.

**Пример использования предлагаемого технического решения  
и технико-экономическая оценка эффективности предложения  
(с учетом общепринятых норм)**

*Расчетные условия*

Теплопотребитель – жилой дом в окрестностях г. Минска, где нет системы централизованного теплоснабжения, общей площадью 3600 м<sup>2</sup>, количество квартир – 50, число жителей – 140 человек.

1. Тепловая нагрузка: отопление – 180 кВт, горячее водоснабжение (среднечасовое за сутки) – 30 кВт.

2. Базовый источник теплоснабжения жилого дома – котельная с котлами на природном газе суммарной теплопроизводительностью 300 кВт (2×150 кВт).

*Тепловые потоки*

1. Количество вытяжного воздуха из помещений жилого дома – 1375 м<sup>3</sup>/ч (из расчета 27,5 м<sup>3</sup>/ч на одну квартиру) со средней температурой 18 °С.

2. Количество дымовых газов, образующихся при сжигании природного газа в котельной:

- при тепловой нагрузке 210 кВт – 252 м<sup>3</sup>/ч (из расчета 120 м<sup>3</sup>/ч природного газа на выработку 1000 кВт·ч и 10 м<sup>3</sup>/ч дымовых газов при сжигании 1 м<sup>3</sup>/ч природного газа) с температурой 110 °С;

- при тепловой нагрузке 180 кВт – 216 м<sup>3</sup>/ч (из расчета 120 м<sup>3</sup>/ч природного газа на выработку 1000 кВт·ч и 10 м<sup>3</sup>/ч дымовых газов при сжигании 1 м<sup>3</sup>/ч природного газа) с температурой 110 °С.

3. Усредненное количество вентиляционного воздуха, проходящего через канализационные стояки жилого дома, – 300 м<sup>3</sup>/ч с температурой 20 °С.

4. Расчетная температура наружного воздуха для г. Минска – минус 24 °С (согласно СНиПу).

5. Средняя за отопительный период температура наружного воздуха для г. Минска – минус 1,5 °С (согласно СНиПу).

6. Продолжительность отопительного периода для г. Минска – 204 сут./год (согласно СНиПу).

*Экономические показатели*

1. Удельные капитальные вложения на сооружение котельной на природном газе – 120 дол./кВт.

2. Удельные капитальные вложения на сооружение установки утилизации на основе теплового насоса – 300 дол./кВт.

3. Удельные капитальные вложения на сооружение установки очистки и нейтрализации конденсата, смеси охлажденных дымовых газов и вентиляционных выбросов – 150 дол./кВт.

4. Удельные капитальные вложения на сооружение установки, обеспечивающей равный экологический эффект очистки дымовых газов и вентиляционных выбросов из помещений зданий и канализационной сети традиционным способом (оценка по результатам анализа стоимости возможных к применению устройств) – 250 дол./кВт.

5. Ежегодные затраты на амортизацию и обслуживание котельной – 8 % от капитальных вложений.

6. Ежегодные затраты на амортизацию и обслуживание установки утилизации на основе теплового насоса – 5 % от капитальных вложений.

7. Ежегодные затраты на амортизацию и обслуживание установки очистки и нейтрализации конденсата, смеси охлажденных дымовых газов и вентвыбросов – 12 % от капитальных вложений.

8. Ежегодные затраты на амортизацию и обслуживание вентиляционных установок и установки, обеспечивающей равный экологический эффект очистки дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети традиционным способом (оценка по результатам анализа стоимости возможных к применению устройств), – 10 % от капитальных вложений.

9. Стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа – 200 дол.

10. Стоимость 1 МВт·ч:

- потребительский тариф – 100 дол.;
- расходуемого тепловым насосом (разрабатываемый в настоящее время льготный тариф, стимулирующий применение энергосберегающего оборудования) – 50 дол.

*Эксплуатационные расходы*

1. Ежегодное потребление теплоты на отопление дома – 402,9 МВт·ч.

2. Ежегодное потребление теплоты на горячее водоснабжение – 259,2 МВт·ч.

3. Количество сбросной теплоты, отбираемой с применением теплового насоса, – 25 кВт.

4. Теплопроизводительность утилизационной установки с тепловым насосом – 30 кВт.

5. Единовременные капитальные вложения на сооружение котельной с котлами суммарной теплопроизводительностью 300 кВт (2×150 кВт) – 36 тыс. дол.

6. Единовременные капитальные вложения на сооружение котельной с котлами суммарной теплопроизводительностью 200 кВт (2×100 кВт) – 24 тыс. дол.

7. Единовременные капитальные вложения на сооружение установки утилизации на основе теплового насоса – 9 тыс. дол.

8. Единовременные капитальные вложения на сооружение установки очистки и нейтрализации конденсата, смеси охлажденных дымовых газов и вентвыбросов – 3,75 тыс. дол.

9. Единовременные капитальные вложения на сооружение вентиляционных установок подачи дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети (в предположении, что вентиляционные установки для обоих сравниваемых вариантов одинаковы) – 5 тыс. дол.

10. Единовременные капитальные вложения на сооружение установки, обеспечивающей равные комфортные условия в вентилируемых помещениях здания и экологический эффект от очистки дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети традиционным способом (оценка по результатам анализа стоимости возможных к применению устройств), – 113 тыс. дол.

11. Суммарные капитальные вложения на теплоснабжение здания от котельной (традиционное решение) с сооружением установки, обеспечивающей



равные комфортные условия в вентилируемых помещениях здания и экологический эффект от очистки дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети, – 473 тыс. дол.

12. Суммарные капитальные вложения на теплоснабжение здания по предлагаемому решению – 41,75 тыс. дол.

13. Ежегодный расход природного газа на выработку теплоты:

- на отопление и горячее водоснабжение от котельной ( $B_{уд} = 120 \text{ нм}^3/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$ ) – 79,5 тыс.  $\text{н}\cdot\text{м}^3$ ;

- на отопление от котельной ( $B_{уд} = 120 \text{ нм}^3/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$ ) – 48,3 тыс.  $\text{н}\cdot\text{м}^3$ .

14. Ежегодный расход электрической энергии для выработки теплоты на горячее водоснабжение, потребляемой установкой утилизации на основе теплового насоса (при коэффициенте трансформации теплоты в тепловом насосе, равном 3,2), – 81,0 МВт·ч.

15. Ежегодный расход электрической энергии вентиляционными установками подачи дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети в установку утилизации на основе теплового насоса (в предположении, что расходы электроэнергии на работу вентиляционных установок для обоих сравниваемых вариантов одинаковы) – 17,5 МВт·ч.

16. Стоимость природного газа, потребляемого на выработку теплоты:

- на отопление и горячее водоснабжение от котельной – 15,9 тыс. дол.;

- на отопление от котельной ( $B_{уд} = 120 \text{ нм}^3/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$ ) – 9,7 тыс. дол.

17. Стоимость электрической энергии, расходуемой:

- тепловым насосом – 4,1 тыс. дол.;

- вентиляционными установками (для обоих сравниваемых вариантов) – 1,75 тыс. дол.

18. Ежегодные затраты на амортизацию и обслуживание:

- котельной с котлами суммарной теплопроизводительностью 300 кВт – 2,9 тыс. дол.;

- котельной с котлами суммарной теплопроизводительностью 200 кВт – 1,9 тыс. дол.;

- установки утилизации на основе теплового насоса – 0,45 тыс. дол.;

- установки очистки и нейтрализации конденсата, смеси охлажденных дымовых газов и вентвыбросов – 0,38 тыс. дол.;

- вентиляционных установок (для обоих сравниваемых вариантов) – 0,5 тыс. дол.;

- установки, обеспечивающей равные комфортные условия в вентилируемых помещениях здания и экологический эффект от очистки дымовых газов и вентвыбросов из помещений зданий и канализационной сети традиционным способом, – 1,13 тыс. дол.

19. Суммарные ежегодные затраты на теплоснабжение здания от котельной (традиционное решение) с равными экологическими условиями – 22,18 тыс. дол.

20. Суммарные ежегодные затраты на теплоснабжение здания по предлагаемому решению – 18,78 тыс. дол.

Итак, выполненные исследования показывают, что предлагаемое устройство технически реализуемо и позволяет обеспечить более дешевое, чем традиционное, теплоснабжение объектов, удаленных от источников централизованного теплоснабжения и размещаемых на территориях, имеющих повышенные требования к выбросам вредных веществ, содержащихся в дымовых газах и вытяжном вентиляционном воздухе, из помещений зданий и внутрен-

ней и наружной канализационной сети. Причем из результатов приведенного технико-экономического анализа следует, что в сравнении с традиционным решением обеспечивается сокращение одновременных капитальных вложений на сооружение предлагаемого устройства на 11,7 %, ежегодных эксплуатационных затрат – на 15,3 %, а также сокращение на 39,2 % потребления природного газа (вместо 793 тыс. нм<sup>3</sup>/год расходуется всего 483 тыс. нм<sup>3</sup>/год).

## ВЫВОД

Задача исследования – удешевление теплоты, производимой автономной системой теплоснабжения зданий, уменьшение загрязнения атмосферы от вредных газовых выбросов и снижение теплового загрязнения окружающей среды при работе систем вентиляции зданий, вентиляции их внутренней и наружной канализационной сети, повышение надежности их работы – выполнена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т е п л о в ы е и атомные электростанции: справ. / под общ. ред. А. В. Клименко и В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 648 с.
2. Р ы ж к и н, В. Я. Тепловые электрические станции: учеб. для вузов / В. Я. Рыжкин; под ред. В. Я. Гирифельда. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
3. П р о м ы ш л е н н ы е тепловые электростанции: учеб. для вузов / М. И. Баженов [и др.]; под ред. Е. Я. Соколова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1979. – 296 с.
4. П а т е н т РФ № 1813999, F 24F 3/16,7/06, БИ № 17, 1993.
5. А в т о р с к о е свидетельство РФ № 1768881, F 24F 3/16, F 24C 15/20 // Бюллетень изобретателя. – 1993. – № 38.
6. П а т е н т РФ № 2202732, F 22B 33/18 // Бюллетень изобретателя. – 2003. – № 11.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 07.07.2011