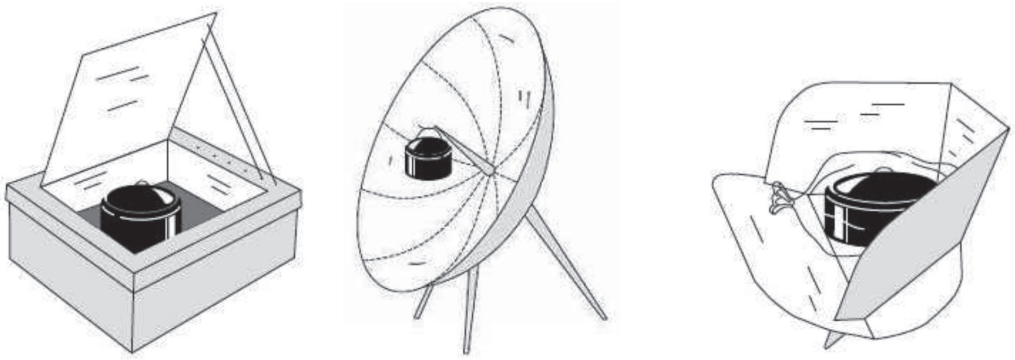

Рис. 3. Солнечные кухни с параболическими концентраторами

Комбинированная схема солнечной печи является наиболее простой по конструкции и представляет собой зеркало – концентратов, состоящее из нескольких плоских зеркал и кастрюли, которая термоизолирована от окружающего воздуха обычным полиэтиленовым пакетом.

Следовательно свой частный дом или коттедж можно построить полностью автономным или перестроить под автономный, конечно затраты на постройку такого дома будут превышать затраты на постройку обычного дома, но эти затраты быстро окупятся. Проживание в таком доме, в котором нет никаких химически вредных веществ – это здоровье, долголетие и хорошее самочувствие.

Список литературы

1. http://www.invertors.ru/solar.htm.
2. http://www.strawhouse.ru/tehnology/sun/teplo.
3. www.mobipower.ru.
4. http://yuko-house.com.
5. http://www.zs-z.ru.
6. http://www.spektr.info.
7. http://www.solarroof.ru.
8. http://building-forum.ru.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ПРИСОЕДИНЕННЫХ СТРУЙ[1]

Семиненко А.С., Малахов Д.Ю., Попов Е.Н., Алифанова А.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, e-mail: Seminenko.AS@gmail.com

Кафедрой Теплогазоснабжения и вентиляции БГТУ им. В.Г. Шухова разработано устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов [5, 7] в аэродинамическую схему которого заложен эффект Коанда (рис. 1). Указанное физическое явление необходимо учитывать во многих технологических процессах, ему посвящались отдельные международные конференции [3], тем не менее ряд задач в литературе изучен недостаточно, хотя они имеют важное значение для практики и теории струй.

Эффект Коанда выражается отклонением по направлению к стенке (при определенных условиях прилипанием к ней) струи газа, вытекающей из сопла. Под действием вязкости на границе между струей и окружающей средой возникает слой смешения, толщина которого растет с расстоянием. Вследствие этого расход в струе также увеличивается. Таким образом, осуществляется вовлечение (эжекция) окружающего воздуха в струйное течение. Близлежащая стенка препятствует эжекции, в результате чего под струей образуется зона разрежения с давлением меньшим давления в окружающей среде. За счет поперечного перепада давления струя искривляется и устойчиво присоединяется к стенке.

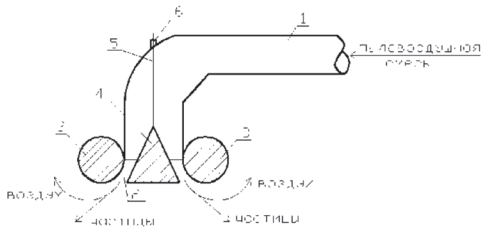

Рис. 1. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов:
1 – трубопровод пневмотранспорта; 2 – щелевое сопло;
3 – тор (разделитель потока); 4 – конус; 5 – вертикальный стержень;
6 – контргайка

Наиболее обширное применение эффект получил в пневмоавтоматике (Залманзон Л.А., Шальнев К.К, Браун Г.Л., Олсон Р.Ф.). Для модели описания эффекта в данной области техники наибольший интерес представляет лишь конечное состояние струи – отклоняется она или нет от первоначального направления. Хотя для дальнейшего исследования реализации эффекта в условиях применения разрабатываемого устройства необходимо знать не только наличие отклонения траектории, но и точку отрыва пограничного слоя нельзя пренебречь данной теорией.

Несмотря на развитие численных методов и моделей описания движения воздушных потоков, интегральные методы, используемые в пневмоавтоматике, оставались, и являются до сих пор надежным способом определения и предсказания характеристик присоединенных струйных течений в инженерном проектировании. Суть интегрального метода состоит в том, что для описания течения используются интегральные характеристики. Для струй в качестве таких характеристик выбираются потоки массы, импульса, энергии и т.д. через поперечное сечение. В рамках интегрального метода определяются именно эти характеристики, а более детальная структура течения определяется по ним с помощью априорно заданных профилей.

В работе В.Д. Столера [4] приведен краткий теоретический обзор теорий по расчету эффекта Коанда: в той или иной мере все они содержат спорные допущения и упрощения. В некоторых из них присутствует предположение о постоянстве давления в отрывной зоне, при этом вызывают вопросы баланс импульса, не учитывающий перепад давления. Профиль скорости в струе при этом принимается согласно эмпирической зависимости Шлихтинга:

[1] Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ (код проекта НШ-588.2012.8).

$$\frac{u}{u_m} = \left[1 - \left(\frac{y}{b}\right)^{1.5}\right]^2, \qquad (1)$$

где b – характерная ширина струи.

Первое решение задачи о присоединении двумерной струи к близлежащей стенке (для частных случаев) было проведено C. Borque, B.G. Newman [1] с использованием интегрального подхода. По одному из главных предположений профиль скорости на срезе сопла является равномерным, т.е. увеличение скорости, связанное с уменьшением давления внутри отрывной зоны пренебрежимо мало. Таким образом, поток импульса на единицу длины равен

$$J = 2(P_0 - P_\infty) \cdot 2h, \qquad (2)$$

где P_∞ – давление окружающей среды.

Кривизна границы в направлении течения влечет за собой появление градиентов давления как вдоль по течению, так и в нормальном к стенке направлении. Однако если кривизна не очень велика, а пограничный слой очень тонок, то градиент по нормали к стенке $\partial p / \partial y$ обычно оказывает второстепенное влияние [2].

Роль градиента давления $\partial p / \partial x$ можно выявить из уравнений Прандтля для двумерного пограничного слоя:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + \vartheta\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}; \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = 0. \qquad (3)$$

При $y = 0$ (где $u = 0$, $\vartheta = 0$) получаем:

$$\mu \left.\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right|_{y=0} = \frac{\partial p}{\partial x}, \qquad (4)$$

Так что кривизна профиля скорости в окрестности стенки определяется только градиентом давления. Пусть $\partial p / \partial x < 0$ (перепад давления направлен по течению – прямой перепад), тогда

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} < 0 \text{ при } y = 0,$$

и так как профиль скорости в данном случае не имеет экстремумов, то

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} < 0 \text{ для всех } y,$$

как указано на рис. 2, а. Если течение в пограничном слое имеет место в области, где $\partial p / \partial x > 0$ (обратный перепад давления), то

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} > 0 \text{ при } y = 0.$$

Однако около внешней границы пограничного слоя и в этом случае

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} < 0 \text{ при } y \approx \delta.$$

Следовательно, всегда, когда $\partial p / \partial x > 0$, в профиле скорости будет появляться точка перегиба, как показано на рис. 2, б.

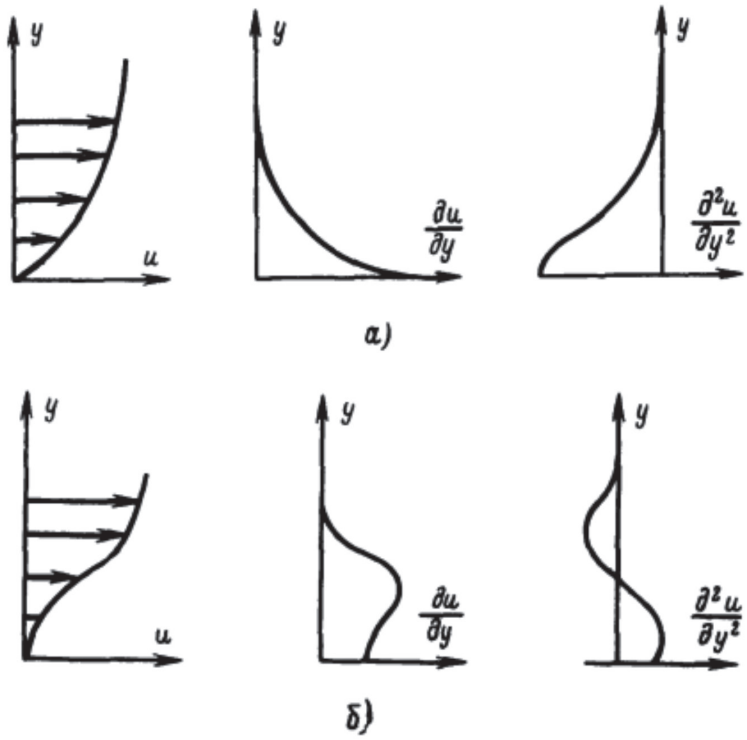

Рис. 2. Влияние градиента давления на профили скорости в пограничном слое. а – $\partial p / \partial x < 0$ ($\partial^2 u / \partial y^2 < 0$ при всех y); б – $\partial p / \partial x > 0$ ($\partial^2 u / \partial y^2 > 0$ только около стенки)

При обратном перепаде давления когда $\partial p / \partial x > 0$, движение жидкости около стенки будет непрерывно замедляться, в результате чего происходит отрыв течения от поверхности (рис. 3).

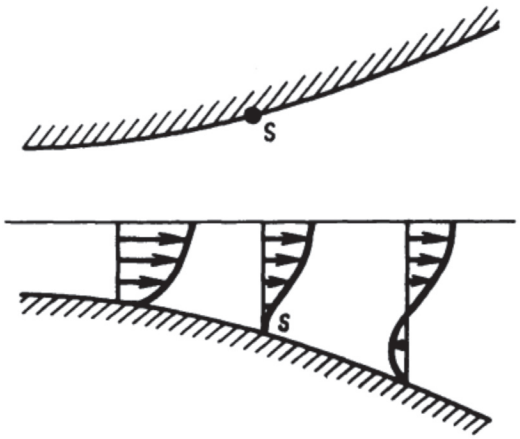

Рис. 3. Схема пограничного слоя при положительном градиенте давления: s – точка отрыва

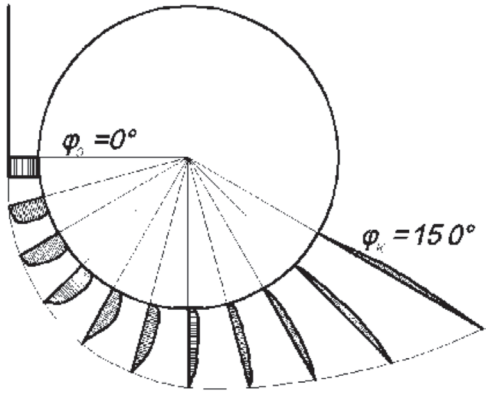

Рис. 4. Реализация эффекта Коанда при работе предлагаемого устройства

Согласно проведенным экспериментальным исследованиям [6] по реализации эффекта Коанда в условиях обтекания тороидальной поверхности сектора отрыв пограничного слоя от разделителя потока рассматриваемого устройства происходит при $\varphi = 150^\circ$ (рис. 4). Данный результат показывает актуальность и работоспособность устройства, однако следует большее внимание уделить определению градиента давления и потока импульса коандовского течения.

Несмотря на некоторые недостатки описанной интегральной модели присоединяющихся струй, они всё же компенсируются её предельной простотой. Причем во многих современных работах основные принципы остаются теми же, с внесением дополнительных уточнений и предположений.

Список литературы

1. Borque C., Newman B.G. Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to the adjacent flat plate. // Aeronautical Quarterly, 1960, v.11, pp 3205-3213.

2. Daily J.W., Harelman D.R.F. Fluid dynamics. // Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachussetts, U.S.A. // 1966.

3. Вилле Р., Фернгольц Г. Сообщение о первом европейском коллоквиуме механиков, посвященному эффекту Коанда // Механика, 1966. № 5.

4. Столер В.Д. Основы организации и расчета вентиляционных процессов, сопровождающихся эффектом Коанда. // Свердловск: УПИ, 1987. // Деп. в ВИНИТИ // № 1317 – В87.

5. Логачев И.Н., Овсянников Ю.Г., Семиненко А.С., Никитенко Б.Л. (RU)// Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов: пат. U1 48318 B65G69/18// №2005117396/22: Заявлено 06.06.2005// Опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.

6. Семиненко А.С., Солодовников В.Н. Снижение пылеобразования при загрузке бункеров сыпучими материалами. // Наука и молодежь в начале нового столетия: Сборник докладов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. // Губкин: ИП Уваров В.П., 2008. // Часть I. – с. 193-196.

7. Семиненко А.С. Влияние цементной пыли на организм человека // А.С. Семиненко, Е.Н. Попов, Д.Ю. Малахов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 2. С. 93-94.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Шеремет Е.О., Семиненко А.С.

Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова, Белгород, e-mail: Seminenko.AS@gmail.com

В настоящее время отопление и горячее водоснабжение городов осуществляется в основном от централизованных систем теплоснабжения. Источником тепловой энергии в таких системах являются городские ТЭЦ, ГТУ, ПТУ и другие теплогенерирующие установки, на которых осуществляется комбинированная выработка электроэнергии и тепла. Централизованное теплоснабжение имеет основное неоспоримое преимущество, по сравнению с децентрализованным. Оно заключается в том, что с термодинамической точки зрения комбинированное производство электроэнергии и тепла на ТЭЦ является гораздо более эффективным, чем раздельное производство электроэнергии на конденсационных тепловых электростанциях и тепла котельными. Например, суммарный КПД построенных раздельно электростанции и котельной будет составлять около 60 % (электростанция имеет КПД в районе 35 %, котельная – 80 %), а КПД когенерационных (комбинированных) установок может достигать 90 % и выше.

Вместе с тем применение централизованных систем теплоснабжения в настоящее время имеет следующие основные недостатки, такие как:

1) высокий физический износ и старение оборудования котельных и ТЭЦ;

2) высокий уровень потерь тепловой энергии в тепловых сетях;

3) высокая стоимость топлива на котельных и ТЭЦ;

4) высокий уровень поврежденности, а следовательно и затрат на эксплуатацию тепловых сетей;

5) нарушение гидравлических режимов тепловых сетей и, как следствие получению «недотопов « и »перетопов» зданий.

Для эффективности теплофикации и централизованных систем теплоснабжения в целом необходимо решение целого ряда различных научно-технических проблем. К важнейшим из которых можно отнести снижения потерь теплоты в тепловых сетях и улучшение качества теплоснабжения, а также экономное расходование энергоресурсов на энергогенерирующих установках.

Одним из решений данной проблемы является использование огромного зарубежного опыта по применению энергосберегающих технологий: в частности использования тепловых насосов для обеспечения экономичности и энергоэффективности централизованного теплоснабжения.

Тепловой насос – это компактная экономичная и экологически чистая система отопления, позволяющая получать тепло для горячего водоснабжения и отопления, используя при этом энергосберегающие технологии, основывающиеся на тепле низкопотенциальных источников. Сущность работы теплового насоса состоит в переносе энергии (тепла) от холодного тела к более теплому. Для этого используется хладагент, который под воздействием подводимой теплоты испаряется в камере с низким давлением и температурой, далее после принудительного повышения давления и температуры в компрессоре, хладагент отдает полученное тепло, конденсируясь в камере с высоким давлением и температурой. Отношение количества перенесенной тепловой энергии к затраченной электроэнергии привода компрессора называют коэффициентом преобразования энергии теплового насоса.

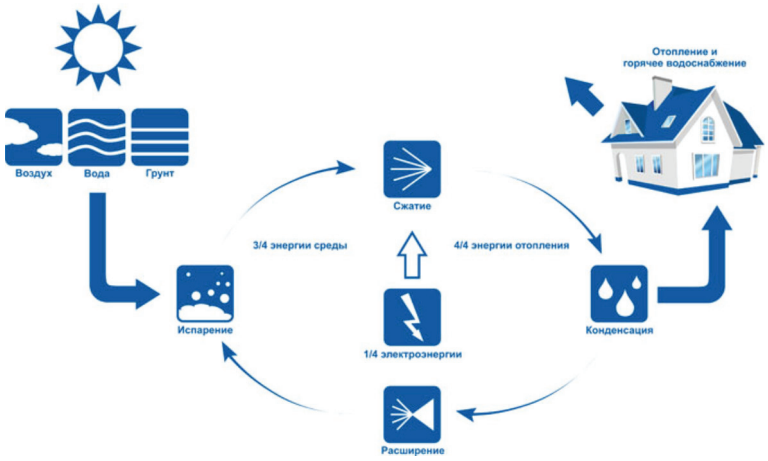

Рис. 1. Принцип работы теплового насоса

Основными элементами теплового насоса являются соединенные трубопроводом испаритель, компрессор, конденсатор и регулятор потока – расширительный вентиль.

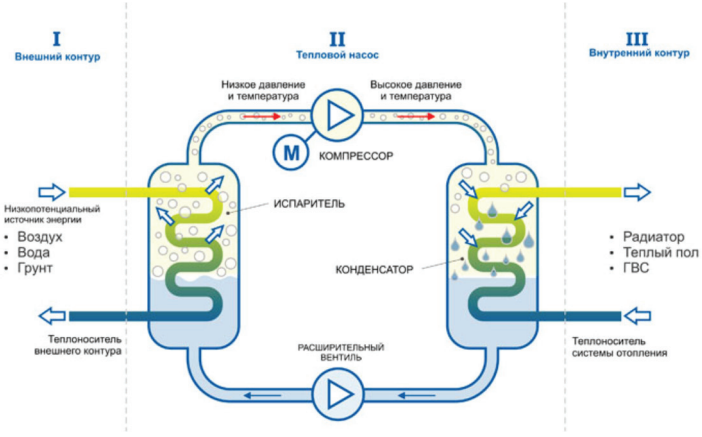

Рис. 2. Устройство и рабочий цикл теплового насоса

Жидкий хладагент забирает тепло из низкопотенциального источника, затем путем регулирования давления расширительным вентилем настраивается такой поток хладагента в испаритель, который обеспечивает определенную расчетную температуру его кипения. Вскипая, хладагент отбирает тепло, поставляемое коллектором из окружающей среды. Газ, в который превратился хладагент, поступает в компрессор, где он сжимается и, нагретый, выталкивается в конденсатор, который является теплоотдающим звеном теплонасоса. Здесь тепло переходит на воду в системе отопительного контура, при этом газ охлаждается и снова превращается в жидкость. Далее хладагент подвергается разряжению в расширительном вентиле и возвращается в испаритель. Затем рабочий цикл повторяется.

Тепловой насос можно представить в виде системы из трех замкнутых контуров: в первом, циркулирует теплоноситель, собирающий теплоту окружающей среды, во втором – хладагент, который испаряется при низкой температуре, отбирает теплоту внешнего теплоносителя, и конденсируется при высокой температуре, отдавая теплоту теплоприемнику, в третьем, внутреннем контуре системы отопления и горячего водоснабжения.

Внешний контур представляет собой, например, уложенный в землю, скважину или в воду трубопровод, в котором циркулирует незамерзающая жидкость – антифриз. Естественным источником низкопотенциального тепла может служить грунт, скальная порода, озеро, река, море и др. В качестве искусственных источников низкопотенциального тепла можно привести, например, выход теплого воздуха из системы вентиляции какого-либо промышленного предприятия, технологическая вода, используемая в производственных процессах и др.

Во второй контур встроены: теплообменники – испаритель, взаимодействующий с внешним контуром, конденсатор взаимодействующий с отопительным контуром системы, устройства, которые меняют давление хладагента – расширительный вентиль и компрессор, и устройства автоматического управления тепловым насосом и системы отопления в целом.

Третий – отопительный контур, включает в себя традиционные радиаторы отопления или системы «теплый пол», бойлеры для нагрева воды и др. [1].

Теплонасосные установки (ТНУ) уже давно доказали свою эффективность, и используются во многих высокотехнологичных странах мира, благодаря тому, что передают потребителю в 3-5 раз больше энергии, чем затрачивают сами на её передачу. Также в ТНУ используются экологически чистые технологии практически без выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Во всем мире наиболее широкое распространение получили тепловые насосы низкой мощности (до 100 кВт), так как они имеют массу преимуществ, таких как компактность, надежность, экологичность, возможность работы при низких температурах наружного воздуха зимой, а также выполнять кондиционирование помещений в теплый период года.

Однако в условиях РФ также актуально применение тепловых насосов большой мощности (до 30 МВт и выше) для модернизации и развития систем централизованного теплоснабжения, в частности в крупных городах, учитывая более низкие удельные капиталовложения (на 1 кВт тепловой мощности) и гораздо меньшую занимаемую площадь, по сравнению с большим количеством тепловых насосов малой мощности.

Существенным препятствием на пути развития ТНУ в РФ является наличие дешевого природного газа, что делает тепловые насосы дорогими и малодоступными из-за относительно высоких капиталовложений, что приводит к увеличению срока его окупаемости. Но всё же следует учитывать, что в ближайшей перспективе цены на газ будут расти, что может существенно повышать конкурентоспособность тепловых насосов. [2].

Наиболее перспективными для эффективного использования ТНУ являются отопительная нагрузка и нагрузка горячего водоснабжения, когда тепло опускается в виде горячей воды, имеющей относительно низкую температуру. В этих условиях ТНУ обеспечивает значительную экономию топлива.

Для привода компрессоров ТНУ парокомпрессионного типа, работающих в системах централизованного теплоснабжения и имеющих достаточно большую механическую мощность (порядка нескольких мегаватт и более), целесообразно использовать газотурбинную установку (ГТУ), которая позволяет плавно изменять производительность компрессоров за счет плавного изменения числа оборотов. При этом тепло уходящих газов газовых турбин должно использоваться для подогрева сетевой воды.

Таким образом, весьма перспективной для исследования представляется комбинированная теплопроизводящая установка (КТУ) [3], включающая ГТУ, водогрейный котел-утилизатор и парокомпрессионный тепловой насос. Выхлопные газы ГТУ поступают в дополнительную камеру сгорания, использующую в качестве окислителя кислород, содержащийся в этих газах, а при необходимости и кислород дополнительно нагнетаемого в эту камеру воздуха. В котел-утилизатор поступает вода, нагретая в конденсаторе теплового насоса. Технологическая схема исследуемой установки изображена на рис. 1.

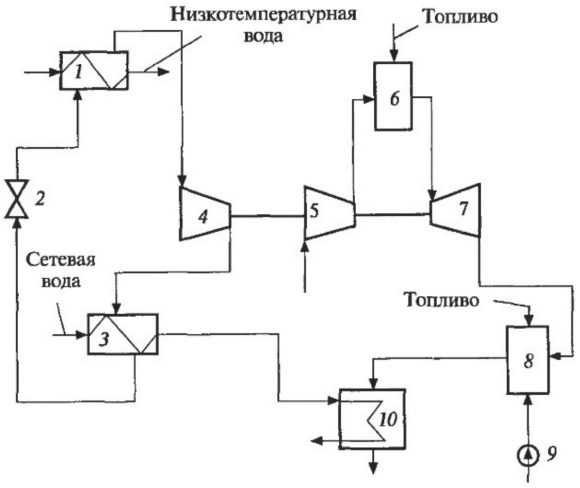

Рис. 3. Технологическая схема комбинированной установки:
1 – испаритель теплового насоса; 2 – дроссель; 3 – конденсатор теплового насоса;4 – компрессор теплового насоса;
5 – воздушный компрессор; 6 – основная камера сгорания; 7 – газовая турбина;
8 – дополнительная камера сгорания; 9 – воздухонагнетатель; 10 – водогрейный котел-утилизатор

Тепло низкопотенциального источника (например, низкотемпературной воды, при наличии рядом проточного водоема) в испарителе 7 передается рабочему телу теплового насоса (фреону), которое превращается в пар с низкими значениями давления и температуры, и сжимается в компрессоре 4 с повышением энтальпии и температуры за счет работы сжатия. После компрессора пар высокого давления поступает в конденсатор 3, где он конденсируется при более высокой температуре и нагревает сетевую воду. Далее, конденсат проходит через дроссельный клапан, в котором падает давление, при частичном испарении рабочего тела и снижении его температуры. После дроссельного клапана хладон возвращает-

ся в испаритель. Сетевая вода, нагретая в конденсаторе 3, поступает в водогрейный котел-утилизатор 10, в котором идет ее окончательный догрев до требуемой потребителю температуры. Газотурбинная установка состоит из воздушного компрессора 5, камеры сгорания 6 и газовой турбины 7. Выхлопные газы из турбины попадают в дополнительную камеру сгорания 8, в которой при необходимости происходит сжигание дополнительного топлива. Далее продукты сгорания идут в водогрейный котел-утилизатор 10, где нагревают сетевую воду, и после того выбрасываются в атмосферу.

Однако недостатком данной системы является наличие в системе водогрейного котла-утилизатора и дополнительной камеры сгорания, в которых происходит лишнее сжигание топлива помимо его сжигания в камере сгорания ГТУ, что приводит к дополнительным топливным затратам и как следствие значительным выбросам в атмосферу продуктов сгорания.

В качестве усовершенствования газотурбинной установки, ведущего к снижению расхода топлива и повышению энергоэффективности централизованного теплоснабжения можно применить следующее технологическое решение (рис. 2).

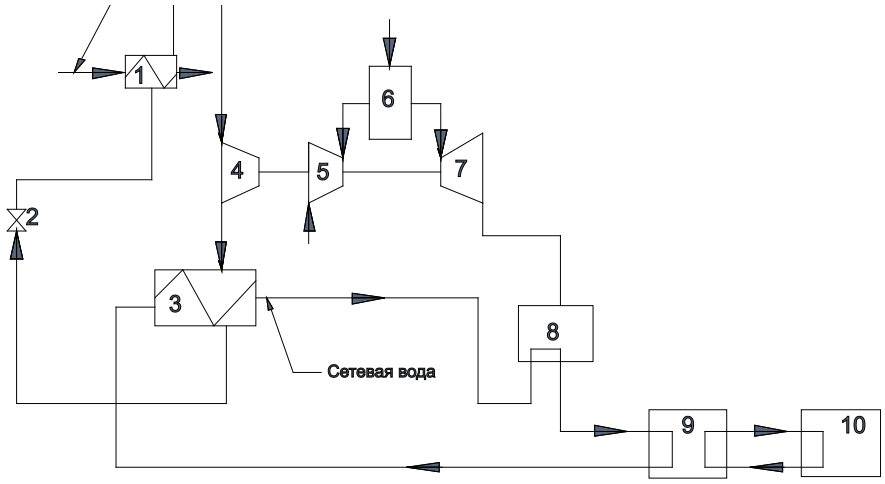

Рис 4. Технологическая схема комбинированной установки:
1 – испаритель теплового насоса; 2 – дроссель; 3 – конденсатор теплового насоса;4 – компрессор теплового насоса;
5 – воздушный компрессор; 6 – основная камера сгорания; 7 – газовая турбина; 8 – газосетевой подогреватель;
9 – удаленный тепловой пункт (котельная, оборудованная тепловым насосом); 10 – потребитель

Принцип работы установки заключается в следующем. Процесс нагрева прямой сетевой воды тепловой сети от центрального теплового пункта к удаленному тепловому пункту осуществляется в газосетевом подогревателе 8 уходящими из газовой турбины 7 газами. Вода, нагретая в газосетевой подогревателе до температуры порядка 60ºС поступает в удаленный тепловой пункт 9 в нашем случае на котельную, переоборудованную под работу с тепловым насосом, в котором тепло сетевой воды забирается фреоном, который при этом испаряется. Затем пар фреона сжимается компрессором и поступает в конденсатор, потом дросселируется. Далее в конденсаторе, при конденсации фреона, нагревается на большую температуру (в зависимости от нужд потребителя) идущую на отопление внутриквартальной сетевой воды потребителя, качественное регулирование которой можно регулировать работой компрессора теплового насоса, давлением в системе, и подбором нужного фреона. Далее, при открытой системе теплоснабжения, вода, остывшая до 45-55ºС, может быть использована в системе горячего водоснабжения, и затем по обратной магистрали, смешиваясь с подпиточной холодной водой, поступать на котельную для дальнейшей циркуляции.

Остывшая сетевая вода прямой тепловой сети поступает в конденсатор 3, где она нагревается теплом из возобновляемого источника энергии, отобранного испарителем теплового насоса 1 и нагретым в компрессоре 4, тем самым снижая затраты на нагрев воды отходящими газами от ГТУ.

Таким образом, при применении данной технологической схемы достигается большая экономичность, и, следовательно, количество выбросов вредных веществ, так как в схеме отсутствуют котел-утилизатор и дополнительная камера сгорания, приводящие к более высоким затратам. Более того снижаются тепловые потери на трубопроводе прямой сетевой воды и как следствие уменьшается износ трубопроводов за счет меньшей температуры циркулирующего теплоносителя, а качественное регулирование тепловым насосом внутриквартальной воды может устранить проблемы «перетопов» и »недотопов».

Недостатками данной системы могут являться дополнительные затраты на расход электричества, на котором работает тепловой насос.

Список литературы

1. Кологривых А.С. О тепловых насосах [Электронный ресурс] / А.С. Кологривых, А.С. Семиненко / Сборник работ IV Международной студенческой электронной научной конференции «СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2012», Российская Академия Естествознания: [сайт] – Режим доступа: http://www.rae.ru/forum2012/15/2550 (проверено: 12.03.2012).

2. Султангузин И.А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения / И.А. Султангузин, А.А. Потапова – журнал «Промышленный Казахстан» №6 (78) июнь 2012 г.

3. Теплосиловые системы: Оптимизационные исследования / А.М. Клер, Н.П. Деканова, Э.А. Тюрина и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – 236 с.