

УДК 697

СИСТЕМА СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ УЧЕБНОГО КОРПУСА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. П. Кузыченко, О. Е. Губа

Астраханский инженерно-строительный институт

Новый закон об энергосбережении диктует требования к реконструкции и модернизации существующих систем создания микроклимата с применением современных разработок и энергосберегающих технологий. Система создания микроклимата помещений учебного корпуса основана на концепции сбережения энергии на примере использования теплового насоса, ветроэнергетической установки и комбинированной фототермической установки.

Ключевые слова: микроклимат, теплонасосная установка, ветроэнергетическая установка, фототермическая установка, энергетическая эффективность, термодинамическую эффективность.

SYSTEM OF MICROCLIMATE CREATION AT EDUCATIONAL BLOCK PREMISES WITH IMPLEMENTATION OF MODERN ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES

V. P. Kuzichenko, O. E. Guba

Astrakhan Institute of Civil Engineering

New trends in energy conservation requires reconstruction and modernization of existing systems of microclimate creation with implementation modern developments and energy-saving technologies. The system of microclimate creation at educational block premises is based on the concept of energy conservation on the example of the use of the heat pump, the wind power plant and combined photothermal installation.

Keywords: microclimate, heat pump system, wind power plant installation, photothermal installation, energy efficiency, thermodynamic efficiency.

В настоящее время внедрение мероприятий по энергоэффективности является актуальным направлением в рамках новой энергетической стратегии России. Другими словами, сберегать энергию стало необходимо и экономически выгодно для всех отраслей экономики.

На удаленных от тепловых и электрических источников объектах ЖКХ требуется большое количество энергетических ресурсов для тепло- и электроснабжения, поэтому весьма целесообразно наряду с топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в частности

солнечную и ветровую энергию. Это особенно актуально для юга России, особенно Астраханской области.

При создании энергоэффективных систем микроклимата помещений учебного корпуса планируется прибегнуть к концепции сбережения энергии на примере использования совместно теплонасосной установки (ТНУ), ветроэнергетической установки и комбинированной фототермической установки для автономного тепло- и электроснабжения. В общем плане энергоэффективная система создания микроклимата изображена на рис. 1.

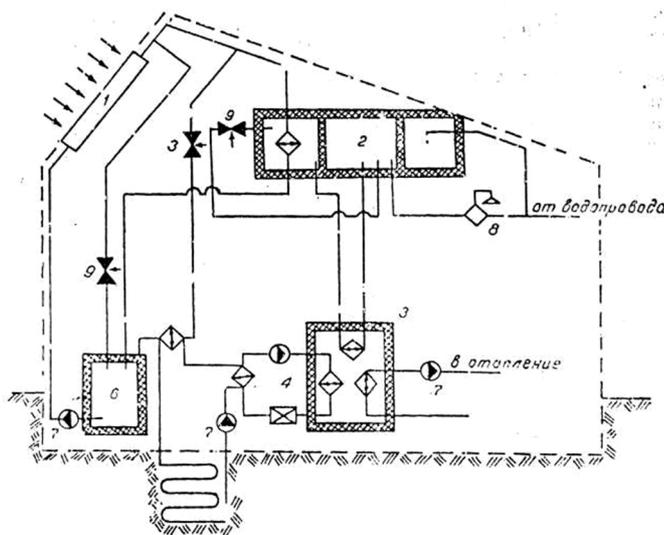


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной энергоэффективной системы:

- 1 – комбинированный фотозлектротермический коллектор; 2, 3 – баки для системы отопления и горячей водоснабжения; 4 – теплонасосная установка; 5 – грунтовой теплообменник; 6 – сливной бак; 7 – насос циркуляционный; 8 – потребитель горячей воды; 9 – вентили электромагнитные

Основным требованием к внедрению новых энергоэффективных и высокоэкономичных технологий должен быть такой уровень использования энергии, который обеспечит им эффективность, не уступающую традиционным технологиям получения теплоты. Большие надежды при решении проблем энергосбережения возлагается на хорошо знакомые ВИЭ – солнечную энергию, ветровую энергию и геотермальную воду. Ограничений во времени их использования не существует – в отличие от ископаемых традиционных ресурсов, запасы которых со временем будут истощены.

На большинстве объектов в Астраханской области, как и в целом в Российской Федерации, удельное потребление энергоресурсов в 2–3 раза выше, чем на аналогичных объектах ряда европейских стран, США и Японии. Такая ситуация обусловлена крайне нерациональным расходом энергоресурсов в результате применения устаревших строительных материалов, несовершенной технологией производства, транспортировки и потребления тепловой и электрической энергии, отсутствием приборов учета и автоматического регулирования потребления тепла, воды и электроэнергии. Поэтому перед использованием ВИЭ на объекте необходимо выполнить комплекс энергосберегающих мероприятий для экономии ТЭР.

В России значительная часть энергоносителей расходуется на отопление. При колебаниях температуры наружного воздуха в помещениях становится либо жарко, либо холодно. В конце отопительного периода температура отопительной воды часто сильно завышена, что заставляет потребителей сильно переплачивать. В 2–3 раза большие расходы тепла в системах отопления связаны, прежде всего, со значительно меньшими термическими сопротивлениями ограждающих конструкций. Для вновь строящихся (с 2000 г.) зданий в соответствии со СНиП [1] они значительно увеличены. Поэтому, прежде всего, следует обратить внимание на повышение термического сопротивления отдельных ограждающих конструкций. Это возможно за счет применения утепляющего слоя наружных стен и чердачных покрытий, совершенствования световых проемов (окон) и др.

В комплекс энергосберегающих мероприятий в системах отопления могут быть включены ручное и автоматическое отключение в нерабочее время, установка поприборных регуляторов системы отопления. Сокращение потребления тепла в системах вентиляции возможно за счет комплекса энергосберегающих мероприятий, позволяющих снизить потребление тепла за счет уменьшения тепловых потерь с инфильтрующимся через неплотности в ограждающих

конструкциях и удаляемым через систему естественной вытяжной вентиляции воздухом. В комплекс этих энергосберегающих мероприятий могут быть включены: применение жалюзийных решеток и шиберов в коробах для сокращения кратности воздухообмена в рабочий период и применение шиберов в коробах для отключения вентиляции в нерабочее время (выходные и праздничные дни).

В качестве ВИЭ могут использоваться солнечная и ветровая энергия. Применение солнечной энергии в переходный период (март–апрель и октябрь–ноябрь) совместно с ветровой энергией для подогрева воды перед подачей в систему отопления позволит значительно уменьшить потребление в эти месяцы электроэнергии [2]. Кроме того, вырабатываемая в теплый период года электроэнергия позволит сократить платежи за электроэнергию. Для автономного теплоснабжения здания учебного корпуса может быть рекомендован следующий комплекс энергосберегающих мероприятий, позволяющих существенно сократить потребление тепла и, соответственно, топлива в автономной электрической котельной или электроэнергии в системе теплоснабжения: повышение термического сопротивления стен и чердачных перекрытий за счет дополнительного слоя утеплителя; использование прозрачных теплозащитных штор; ступенчатое регулирование работы автономной системы отопления, исключающее перетоп; отключение котельной в нерабочее время (при наличии ТНУ); сокращение вентиляционных выбросов при отключении вентиляции с помощью шиберов в нерабочее время; использование комбинированных гелиоустановок для подогрева воды в межсезонье с накоплением тепла в тепловом аккумуляторе и получения электроэнергии; использование ТНУ в проектируемом тепловом пункте и подбор дополнительного оборудования [3].

Большое количество выбросов при работе энергетических установок приводит к загрязнению окружающей среды и к созданию парникового эффекта, что может привести в будущем к экологической катастрофе. При проектировании, строительстве и эксплуатации гражданских объектов планируем использовать экологически чистые ВИЭ, которые преобразовываем в тепловую и электрическую энергию. Поэтому весьма актуальной является разработка новых высокоэффективных комбинированных устройств для автономного тепло- и электроснабжения объектов, особенно для удаленных от централизованных систем электро- и теплоснабжения. Схема расположения конструкции устройства для автономного тепло- и электроснабжения приведена на рис. 2.

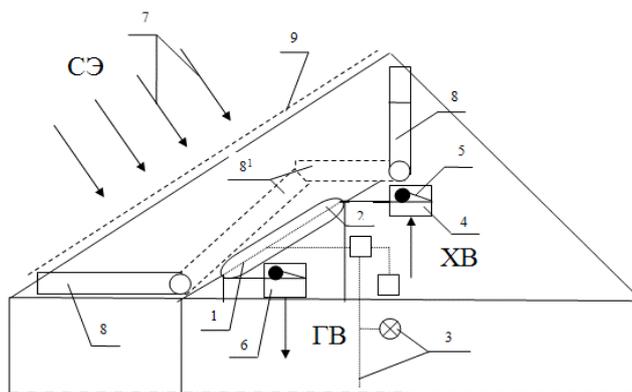


Рис. 2. Схема расположения конструкции:

1 – фотоэлектрические модули; 2 – фототермический гелиоколлектор; 3 – цепь ночного освещения; 4 – расходный бак холодной воды; 5 – поплавковый регулятор уровня; 6 – бак-аккумулятор; 7 – солнечные лучи; 8 – створки

Электрическая схема комбинированной фотоэлектротермической установки (КФЭТУ) включает: фотоэлектрические модули, расположенный внутри фотоэлектротермического коллектора и являющийся источником электроэнергии; распределительное устройство; аккумуляторную батарею; цепь ночного освещения. В дневные часы электроэнергия запасается в аккумуляторной батарее и расходуется на ночное освещение и бытовые приборы (холодильник, телевизор) и частично расходуется датчиком – реле уровня жидкости двухпозиционным. Мощность и энергоемкость автономной сети, установочное количество фотоэлектротермических коллекторов определяется при проектировании.

ТНУ являются альтернативой традиционным источникам тепловой энергии. При проектировании индивидуального теплового пункта и подборе необходимого оборудования, работающего с ТНУ, учитывается, что необходимо также дополнительно установить бак-резервуар (объем 10–20 л на 1 кВт мощности на подаче) в систему отопления, в случае насосов типа «воздух-вода» и на обратной линии в случае насосов типа «вода-вода», «грунт-вода» [4]. Бак-водонагреватель для получения горячей воды должен быть установлен дополнительно. Следует помнить, что максимальная температура горячей воды составляет 65 °С, что применимо в случае систем напольного, настенного и низкотемпературного радиаторного отопления и, естественно, приготовления горячей воды.

В рассматриваемой схеме экспериментальной энергоэффективной системы создания микроклимата принимаем ТНУ по сочетанию источников «воздух-вода» ориентируясь на рассчитанную нагрузку здания учебного корпуса. Источником тепла в здании учебного корпуса является удаляемый вентиляционный воздух и приточный наружный воздух. ТНУ перерабатывает тепловую энергию отводимого воздуха и

обеспечивает приготовление теплоносителя для системы отопления. Необходимо учитывать, что в течение всего отопительного сезона или даже целого года требуется постоянное вентилирование помещений, и если предусмотрено кондиционирование помещений, то в летний период. В данном устройстве изначально заложена возможность использования и отводимого вентиляционного, и наружного воздуха конструктивно.

Для уменьшения поверхности испарителя снижается температура кипения рабочего тела, так как воздух обладает низким коэффициентом теплоотдачи, вследствие этого уменьшается степень совершенства ТНУ. Данные по испытаниям ТНУ, которые используют воздух в качестве источника тепла, свидетельствуют о среднем коэффициенте эффективности за отопительный сезон, не превышающем 2–4,5. В периоды пиковой нагрузки и при эпизодически низких температурах наружного воздуха автоматически включается котельная установка. Наилучшим методом борьбы с инеем является его автоматическое оттаивание, проводимое периодически. Наиболее целесообразно применение воды непосредственно в конденсаторе, а вентиляционного воздуха – в испарителе.

Совместное использование ТНУ и комбинированного фотоэлектротермического устройства для автономного электро- и теплоснабжения учебного корпуса позволит снизить нагрузку на тепловую сеть до 40 %. Разрабатываемое устройство предназначено для производства как электроэнергии, так и тепла невысокого потенциала, которое может обеспечить объект электроэнергией, горячей водой и теплом [5]. Коэффициент использования солнечной энергии составляет 50...60 % при электрическом КПД 10...15 %. Использование стационарных концентраторов позволяет снизить стоимость СЭС в 2÷4 раза, доведя ее до 2000–3000 дол/кВт электрической и тепловой мощности.

Как видно из анализа рассчитанных данных, приведенных в [6], за счет изоляционной реконструкции обшивки здания, энергосберегающих мероприятий, альтернативных источников энергии удалось снизить среднюю за отопительный сезон нагрузку на отопление учебного корпуса почти в 2,5 раза. При этом самый малый процент в уменьшение нагрузки ежемесячно вносит ветровая установка, хотя по цене она самая дорогая. Это в первую очередь связано с небольшой средней годовой скоростью ветра в Астраханской области. Ветровые установки (любые) дают номинальный выход энергии при расчетной скорости ветра 10–15 м/с.

В зависимости от режима работы схемы (это летний, зимний и переходный периоды) возможно отключение какой-либо из подсистем. В частности, в летний период работают системы солнечного теплоснабжения и горячего водоснабжения, зимой из-за метеорологических осадков и низкой солнечной радиации солнечный контур можно отключить. В переходный период предусматривается использование всех трех подсистем. Если солнечный контур не отключать поздней осенью, ранней весной и зимой, когда солнечной радиации недостаточно для нагрева воды до температуры 50 °С, солнечное

тепло через скоростной теплообменник можно передавать в грунтовый аккумулятор и уже оттуда с помощью ТНУ переводить на требуемый потенциал с коэффициентом преобразования 2,5–3,5. ТНУ сможет переводить тепловую энергию с температуры грунта до температуры отопления в 50 °С. Поэтому было бы разумным систему теплоснабжения учебного корпуса осуществлять за счет трех независимых друг от друга подсистем: солнечного теплоснабжения с фотоэлектрическими модулями, ТНУ и электрического отопления от ТНУ. Применение ветроэнергетической установки менее эффективно, и срок ее окупаемости около 20 лет. Учитывая, что в ближайшие годы ожидается резкое повышение цен на ТЭР, в целом срок окупаемости энергосберегающих мероприятий, в том числе и постановка ТНУ, составит не более 5 лет.

Авторами была рассмотрена энергетическая эффективность элементов экспериментальной системы (табл. 1), однако она не отражает в полной мере потенциальные возможности использования энергии с учетом температурных уровней теплоносителей. Поэтому целесообразно рассмотреть термодинамическую эффективность комбинированной установки на основе эксергетического метода.

Таблица 1

Энергетические КПД элементов фотоэлектрических и термических установок

$\eta_{ФБ}$	$\eta_{ТК}$	$\eta_{О}$	$\eta_{ЭА}$	$\eta_{ТА}$	$\eta_{КФБ}$	$\eta_{КФБК}$	$\eta_{КФЭТУ}$
0,10	0,30	0,65	0,70	0,74	0,07	0,37	0,28
0,15	0,40	0,75	0,70	0,86	0,13	0,53	0,46
0,20	0,50	0,85	0,70	0,95	0,19	0,69	0,65

Как видно из таблицы 1, увеличение КПД отдельных элементов от 0,10 до 0,20 позволяет в комбинированной установке достичь КПД от 0,28 до 0,65 при существенно меньших капитальных затратах для получения электрической и тепловой энергии.

Рассмотрим термодинамическую эффективность экспериментальной установки на основе эксергетического метода, в развитие которого большой вклад внесли работы ряда зарубежных и отечественных авторов: Дж. Ахерна, З. Ранга, Дж. Шаргута, Н. Элснера, С. Ямаучи, Е. Н. Янговского, Р. А. Амерханова, Н.Д. Шишкина, Л. П. Андреева, В. М. Бродянского, Г. Н. Костенко, Е. Е. Новгородского, В. С. Степанова и др.

В качестве основных показателей термодинамической эффективности в этих работах применяют эксергетический КПД, коэффициент эффективности использования первичной эксергии и др., в которых учитываются температурные уровни теплоносителей с помощью эксергетической температуры.

Имеющиеся в литературе методики и формулы весьма эффективно используются для ана-

лиза отдельных установок, в которых имеет место превращение первичной эксергии различных энергоисточников [2, 7]. Детально исследовались установки и схемы комплексного использования теплоты продуктов сгорания природного газа [2, 7]. Эти установки и схемы, имели, как правило, линейную или линейную с ответвлениями структуру, характерную для энергетических и промышленных установок. В них всегда отсутствовали аккумуляторы энергии (тепловые и электрические), так как выработка тепловой и электрической энергии за счет утилизации теплоты продуктов сгорания осуществлялась в то же время, что и ее потребление.

В установках с ВИЭ несогласованное по времени поступление и выработка энергии требует обязательного наличия в структуре энергокомплексов разного рода аккумуляторов (тепловых, электрических и др.). Кроме того, в структуре энергокомплексов могут быть различного рода утилизаторы ВЭР, что приводит к трансформации линейных структур схем в циклические. Поэтому известные формулы не могут применяться для определения коэффициента

эффективности использования первичной эксергии и эксергетического КПД комбинированных установок с ВИЭ.

В ряде работ последних лет была рассмотрена термодинамическая эффективность комбинированных схем, включающих различные источники тепловой энергии, потребителей энергии и различные их комбинации. Например, в работе [7] выполнен анализ 15-ти теплоэнергетических технологий, главным образом, «большой энергетики» с использованием ТЭЦ, котельных, ГТУ, ДВС, ТНУ, детандер-генераторных агрегатов, низкопотенциального тепла (гелиоустановки) и др., приведены необходимые расчетные формулы, примеры и результаты расчетов, по которым можно предварительно судить об эффективности каждой структурной схемы. Однако в этих схемах не рассмотрены широко используемые в «малой энергетике» другие ВИЭ, ВЭР и аккумуляторы. Поэтому необходимо выполнить термодинамический анализ этих относительно новых, ранее не исследованных объектов.

Первичной энергией и, соответственно, эксергией, преобразуемой в энергоустановке в тепловую, может быть энергия потока солнечного излучения, энергия естественных источников низкопотенциального тепла и др. Поэтому оценка температурных уровней процессов преобразования различных видов энергии в различных трансформаторах энергии (источников тепла) может быть произведена на основе анализа процессов превращения энергии и эксергии в них, а также на основе оценки максимальной теоретически достижимой температуры.

Вопрос о целесообразности применения солнечных установок может быть решен путем оценки эксергетического КПД проектируемой установки. Рассмотрим термодинамическую эффективность КФЭТУ, состоящей из солнечного нагревателя (СН) и ФЭП, газового водонагревателя (ГН), утилизатора тепла сточных вод (УТ); в качестве потребителей тепловой энергии принимаются система отопления (СО) и система горячего водоснабжения (СГВ). Структурная схема КФЭТУ приведена на рис. 3.

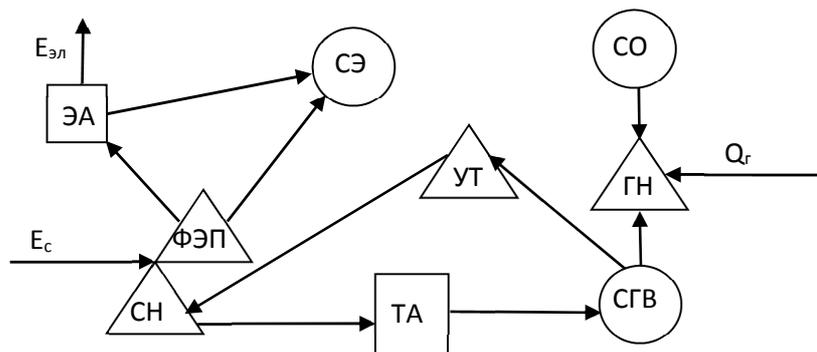


Рис. 3. Структурная схема КФЭТУ

Для расчета эксергетического КПД приняты постоянные параметры, такие как доля теплоты, получаемая от топливного источника теплоты первым и вторым потребителями $\alpha_1 = 1$; $\alpha_2 = 0,5$, эксергетические КПД ГН 0,85, всех теплопроводов 0,90; абсолютная температура окружающей среды 283 К. При расчете эксергетического КПД учитываются также потери энергии в тепловом аккумуляторе, принятые равными 0,85 [7].

Эксергетические температуры теплоносителя, поступающего потребителям, определяются по формулам:

$$\Theta_{CO} = 1 - \frac{T_0}{T_{CO}}, \quad (1)$$

$$\Theta_{СГВ} = 1 - \frac{T_0}{T_{СГВ}}, \quad (2)$$

$$\Theta_{СГВ}^x = 1 - \frac{T_0}{T_{СГВ}^x}, \quad (3)$$

где T_{CO} , $T_{СГВ}$, $T_{СГВ}^x$ – абсолютные температуры теплоносителя на входе в СО, СГВ и в неявном виде в СГВ, К. $T_{CO} = 333$ К, $T_{СГВ} = 333$ К, $T_{СГВ}^x = 298$ К.

Максимальные эксергетические температуры дымовых газов в ГН, теплоносителя в СН, в УТ определяются по формулам:

$$\Theta_{ГН}^{\max} = 1 - \frac{T_0}{T_{ГН}^{\max}}, \quad (4)$$

$$\Theta_{СН}^{\max} = 1 - \frac{T_0}{T_{СН}^{\max}}, \quad (5)$$

$$\Theta_{УТ}^{\max} = 1 - \frac{T_0}{T_{УТ}^{\max}}, \quad (6)$$

где $T_{ГН}^{\max}$, $T_{СН}^{\max}$, $T_{УТ}^{\max}$ – максимальные абсолютные температуры продуктов сгорания в ГН, теплоносителя в СН, в УТ, К. $T_{ГН}^{\max} = 2000$ К, $T_{СН}^{\max} = 333$ К, $T_{УТ}^{\max} = 308$ К.

Эксергетический КПД КФЭТУ, очевидно, равен сумме эксергетического КПД термического (теплового) и электрического преобразователей:

$$\eta_{КФЭТУ}^{ex} = \eta_T^{ex} + \eta_{Э}^{ex}. \quad (7)$$

Эксергетический КПД термического преобразователя:

$$\eta_T^{ex} = \frac{\alpha \eta_{ГН} \eta_{П1} \Theta_{CO} + [(1-\alpha) \eta_{ГН} \eta_{П2} + \beta_{CH} \eta_{ТА} \eta_{П3}] \Theta_{СГВ} + \beta_{УТ} \eta_{ТА} \eta_{П4} \Theta_{СГВ}^X}{\Theta_{ГН}^{max} + \beta_{CH} \Theta_{CH}^{max} - \beta_{УТ} \Theta_{УТ}^{max}} \quad (8)$$

где β – отношение тепловой производительности каждого низкопотенциального энергоисточника, подающего тепло соответственно первому и второму потребителю, к тепловой производительности источника теплоты. $\beta_{CH} = 0,4$, $\beta_{УТ} = 0,6$.

Как отмечалось в [2], электроэнергия является практически стопроцентной эксергией. Эксергетический КПД для ФЭП:

$$\eta_{Э}^{ex} = \eta_{ФП} \eta_{ЭА} \eta_o \quad (9)$$

Результаты расчетов по полученным формулам оценки термодинамической эффективности составляющих установки и установки в целом (1)–(9) показывают что $\eta_T^{ex} = 0,21$, $\eta_{Э}^{ex} = 0,12$ и $\eta_{КФЭТУ}^{ex} = 0,33$. Таким образом, видно, что совместное использование их гораздо эффективнее, чем просто термические или фотоэлектрические установки, при меньших капитальных затратах на КФЭТУ.

В заключение сделаем выводы:

1. Предложена энергоэффективная система микроклимата помещений учебного корпуса,

включающая в себя теплонасосную установку, ветроэнергетическую установку и комбинированную фототермическую установку для автономного тепло- и электроснабжения.

2. Авторами предложена основная составляющая энергоэффективной системы – конструкция КФЭТУ для автономного электро- и тепло-снабжения, позволяющая осуществить совместную выработку тепловой энергии низкого потенциала и электрической энергии.

3. В целом срок окупаемости энергосберегающих мероприятий составит в пределах 4–5 лет для предложенной энергоэффективной системы микроклимата учебного корпуса.

4. Проведена количественная оценка КПД отдельных элементов и установок, которая показывает, что с увеличением КПД отдельных элементов от 0,10 до 0,20 в комбинированной установке возможно получить КПД от 0,28 до 0,65.

5. Эксергетический анализ показывает высокую эффективность КФЭТУ при меньших капитальных затратах по сравнению с использованием отдельных элементов.

Список литературы

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М. : Госстрой России, 2003.
2. Шишкин Н. Д. Малые энергоэкономичные комплексы с возобновляемыми источниками энергии. М. : Готика, 2000. 236 с.
3. Энергосберегающие технологии в современном строительстве / пер. с англ. Ю. А. Матросова и В. А. Овчаренко ; под ред. В. Б. Козлова. М. : Стройиздат, 1990. 296 с.
4. Галимова Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы. Астрахань : АГТУ, 1997. 226 с.
5. Плешка М. С. Теплонасосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения. М. : Стройиздат, 1990. 305 с.
6. Свинцов В. Я., Маркин В. К., Губа О. Е., Муканов Р. В. Новые технологии в системах отопления объектов, удаленных от тепловых и газовых магистралей, на примере средних образовательных учреждений Черноярского района Астраханской области : отчет по гос. контракту 198 министерства ЖКХ АО от 25.06.2007 г. Астрахань : АИСИ, 2007. 310 с.
7. Ильин А. К., Шишкин Н. Д. Автономные теплоэнергетические комплексы (структура, характеристики, эффективность) : монография. Ростов-на-Дону : Южный научный центр РАН, 2004. 112 с.

© В. П. Кузыченко, О. Е. Губа

Ссылка для цитирования:

Кузыченко В. П., Губа О. Е. Система создания микроклимата помещений учебного корпуса с применением современных энергосберегающих технологий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 1 (11). С. 63–68.