

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Отчет

**Технические решения и техническое задание на разработку
соответствующей части проектно-сметной документации относительно
внедрения мер и размещения оборудования для повышения
энергоэффективности в пилотных зданиях**

Исполнитель,
Эксперт по вопросам энергетической
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск
декабрь 2013

Содержание

стр.

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ..	4
2. СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ.....	9
3. УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА СТОЧНЫХ ВОД.....	11
4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ	15
5. ТЕПЛО ГРУНТА – ПОВСЕМЕСТНО ДОСТУПНЫЙ ИСТОЧНИК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ.....	17
6. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА РАЗРАБОТКУ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
ИСТОЧНИКИ.....	24

Введение

Необходимо определиться с понятием «Энергоэффективное здание». В 70 -80 гг. прошлого столетия с первым энергетическим кризисом в Западном мире были сделаны первые шаги в направлении экономии тепловой энергии для эксплуатации зданий. Были построены первые здания, называвшиеся энергоэффективными [1]. Выбор технических решения при строительстве этих зданий носил случайный характер, а в понятие энергоэффективности не вкладывалось глубокого смысла. Как правило, акцент делался на использование альтернативных источников энергии: солнечной, энергии ветра, геотермальной [2]. Понимание необходимости системного подхода к проектированию зданий с предельно низким уровнем тепловых потерь было продемонстрировано в проекте «Пассивный дом», выполненном в Германии в 1988-1993гг [3]. Основной идеей проекта было строительство зданий, в которых система отопления могла бы играть вспомогательную роль. Это первый в истории, давший толчок массовому строительству зданий указанного типа в Западной Европе. Недостатком идеологии пассивных зданий является жесткость в требованиях к уровню теплоснабжения здания ($15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год), не учитывающая особенности объемно-планировочных решений здания, экономические условия, климатические и социальные особенности регионов строительства.

В [1] декларируется системный подход к проектированию и строительству энергоэффективных зданий, однако, здание не рассматривается как развивающийся организм, увязанный с общим развитием энергоэффективных технологий. В интенсивно развивающемся технологическом мире энергоэффективное здание нельзя рассматривать как статичную систему вне общих тенденций развития энергетики и энергоэффективных технологий.

Наиболее точно энергоэффективное здание характеризует следующее определение [4]:

Энергоэффективное здание - открытая энергетическая система с оптимальным для существующих технико-экономических условий уровнем потребления тепловой энергии и интерфейсом для подключения энергоэффективных модулей.

Это развивающееся с точки зрения уровня тепловых потерь объект, энергетические характеристики которого изменяются по мере развития энергоэффективных технологий, оставаясь оптимальными по соотношению затрат с получаемой экономией энергии все время жизни здания.

1. Экономическая целесообразность энергоэффективных мероприятий.

Затраты энергии на эксплуатацию здания в течение срока его жизни можно записать в следующем виде [4]:

$$E = S_{от} \left[\sum_{n=1}^N \tau_n \cdot (f_1 \cdot \Delta T_n - f_{2n}) - \sum_{m=3}^M \sum_{n=k_m}^N \tau_n \cdot f_{mn} \right], \quad (1)$$

где N - срок жизни здания, лет; M - количество энергоэффективных технологий в здании; n - номер года; m - номер технологии; k_m - номер первого года введения технологии; E - затраты энергии на эксплуатацию здания в течение срока его жизни, кВт-ч; $S_{от}$ - отапливаемая площадь здания, m^2 ; τ_i - длительность отопительного периода в i -м сезоне, час.; f_1 - общий удельный коэффициент теплопередаче здания, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$; f_{2i} - мощность внутренних источников тепла в здании, $кВт/m^2$; f_{mn} - удельная мощность энергоэффективных технологий m -й технологии в n -м году, $кВт/m^2$; ΔT_n - средняя разность температур воздуха внутри и снаружи здания в i -м году, $^\circ C$.

Снижение затрат энергии на отопление и горячее теплоснабжение зданий может быть достигнуто комплексом мероприятий [4]. Это утепление оболочки здания, утилизация тепла вентиляционных выбросов, сточных вод, оптимизация систем теплоснабжения. В то же время, задача снижения затрат энергии должна быть экономически оправданной. При этом следует различать задачи, решаемые при выполнении пилотных проектов, когда важно определить направление развития энергосберегающих технологий и при подготовке новых нормативных документов, определяющих развитие строительной отрасли на несколько лет. Во втором случае определяющим фактором при выборе энергосберегающих решений является их экономическая целесообразность.

В Советском Союзе основным критерием при выборе инвестиционных проектов был срок окупаемости капитальных затрат [5], т. е. величина отношения:

$$T = Z_0 / \Delta \mathcal{E}, \quad (1.3)$$

где Z_0 - капитальные затраты, руб.; $\Delta \mathcal{E}$ - дополнительный годовой доход от внедрения, руб. При этом нормативный срок окупаемости задавался в пределах 8-12 лет.

В настоящее время используют новые экономические подходы к определению экономической эффективности инновационных мероприятий [4], учитывающие предполагаемую доходность вложенных средств. Основным экономическим показателем эффективности вложенных инвестиций может служить полный дополнительный доход, \mathcal{E} , который может быть получен за срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий

с учетом наращивания под проценты промежуточных доходов от реализации мероприятия, т. е. наращенный доход [6].

В [7] предложен подход к расчету экономической эффективности, позволяющий дополнительно учесть прогнозируемую тенденцию изменения стоимости энергии, инфляционные и кризисные явления в экономике. Во время кризиса, как правило, происходит девальвация денег, что приводит к скачкообразному снижению их стоимости. Стоимость энергии может снизиться на кратковременном периоде, но она быстро возвращается к исходному уровню и продолжает расти дальше.

При этом окупаемость энергоэффективного мероприятия в условиях роста стоимости энергетических ресурсов и инфляционных процессов возможна только при условии:

$$\Delta \mathcal{E} / Z_0 > \alpha(1+r) - (1+r_1) \quad (1)$$

Для условия:

$$\alpha(1+r) < (1+r_1) \quad (2)$$

срок окупаемости энергоэффективного мероприятия будет равен:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{\Delta \mathcal{E} + Z_0((1+r_1) - \alpha(1+r))}{\Delta \mathcal{E}}\right)}{\ln\left(\frac{1+r_1}{\alpha(1+r)}\right)} \quad (3)$$

Здесь где r_1 – относительное годовое увеличение стоимости энергоресурсов; α коэффициент инфляции в стране.

Из выражения (3) следует, что для случая, задаваемого неравенством (2), мероприятия по энергосбережению всегда окупаемы [7].

Рассмотрим составляющие теплового баланса зданий на рис. 1.

Здесь представлены здания современной постройки и энергоэффективные здания. Причем, представлены энергоэффективные здания трех поколений: соответствующие современным возможностям строительства (строящиеся в рамках программы энергоэффективного строительства в Республике Беларусь), прогноз для энергоэффективных зданий 2015-2020 гг и 2020-2030 гг. постройки. По прогнозу затраты тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение снизятся от 67 кВтч/м² в год до 12 кВтч/м² в год для энергоэффективных зданий 2020-2030 гг. строительства. Прогноз строился на предположении, что с течением времени изменяются как составляющие теплового баланса жилых зданий, так и экономически оправданные энергоэффективные технические средства для снижения тепловых потерь жилых зданий.

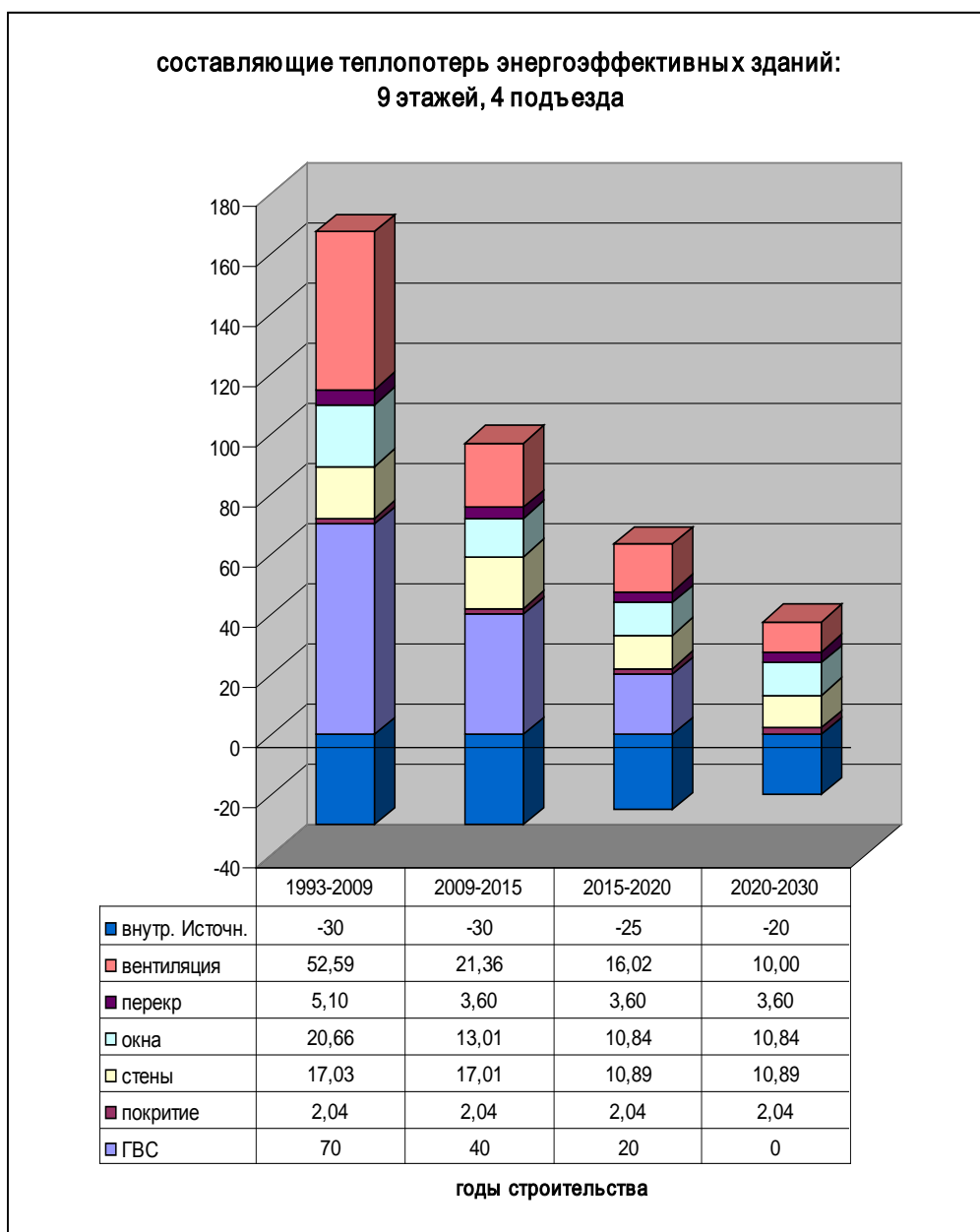


Рисунок 1 - Составляющие теплового баланса энергоэффективных зданий в развитии.

Рассмотрим обоснованность прогноза изменения составляющих теплового баланса. Начнем с мощности внутренних источников тепла. Снижение этой величины связано с двумя процессами:

- уменьшением заселенности жилого фонда зданий (с 21 м²/чел до 30 м²/чел в 2020 г), связанной с реализацией программы жилищного строительства в стране;
- снижением мощности электроприборов, обусловленных техническим прогрессом, в т.ч., переходом к энергосберегающему освещению.

Второе – тепловые потери через ограждающие конструкции зданий. Для существующих условий оптимальным является сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий около $5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ [7]. По существующим нормативам оно равно $3.2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. С увеличением стоимости энергоносителей, повышение степени утепления зданий можно считать неизбежным, что приведет к уменьшению тепловых потерь через наружные ограждения.

Уже выпускаются окна с сопротивлением теплопередаче более $1.4 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ [4]. От современных энергоэффективных окон они отличаются наполнением стеклопакета, вместо аргона используют ксенон или криптон. При использовании нового поколения энергоэффективных окон будут снижены тепловые потери через них, как это указано на рис.1 выше.

Снижение удельных тепловых потерь с воздухообменом можно прогнозировать как за счет использования более эффективных теплообменников, так и за счет повышения качества строительства, что увеличит герметичность зданий, и снижения кратности воздухообмена по мере уменьшения заселенности зданий.

Уменьшение затрат тепла на горячее водоснабжение зданий в нынешнем поколении энергоэффективных зданий достигается использованием системы утилизации тепла сточных вод [4]. Дальнейшее снижение может быть достигнуто использованием солнечной энергии, вначале – тепловых солнечных коллекторов, а затем фотоэлектрических элементов.

В итоге, в зданиях 2015-2020 гг. постройки можно прогнозировать около $40 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, а в энергоэффективных зданиях следующего поколения – менее $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Причем, уже сегодня при строительстве энергоэффективных зданий необходимо закладывать технические решения, обеспечивающие возможность подключения энергоэффективных модулей по мере развития технико-экономических условий их применения.

Основным критерием эффективности энергосберегающих мероприятий является срок окупаемости затрат. Используя результаты, полученные в [7], можно показать, что для заданного срока окупаемости при известных экономических условиях отношение стоимости энергии, сэкономленной за год эксплуатации к затратам на выполнение энергосберегающего мероприятия должно быть равно:

$$\frac{\Delta \mathcal{E}}{Z_0} = \frac{(\alpha \cdot (1+r))^n \cdot (\alpha \cdot (1+r) - (1+r_1))}{(\alpha \cdot (1+r))^n - (1+r_1)^n}, \quad (4)$$

На рис. 2 приведено значение зависимости отношения $\Delta \mathcal{E}/Z_0$, рассчитанное из (4), с значениями переменных, приведенных в таблице 1 от срока окупаемости затрат.

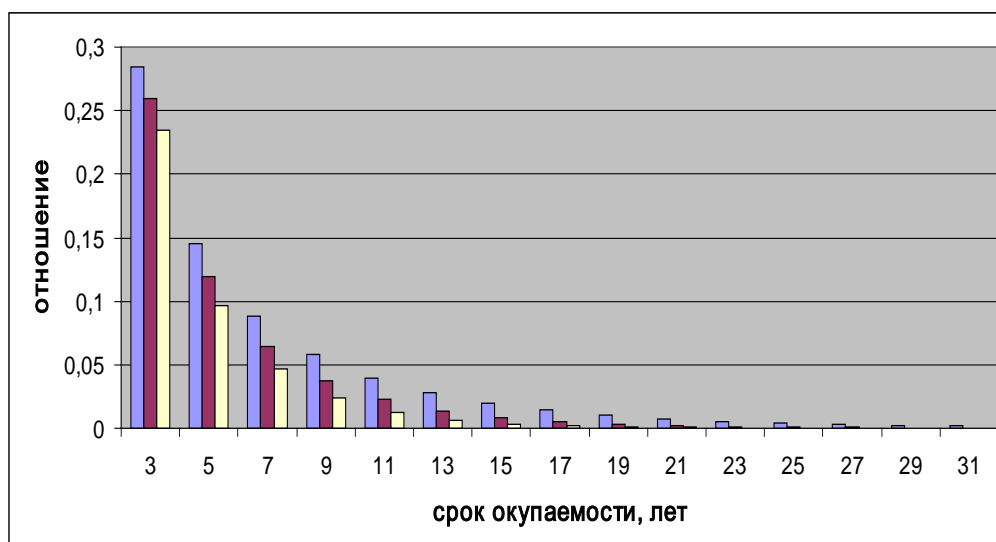


Рисунок 2 - Зависимости отношения $\Delta E/E_0$ от срока окупаемости затрат

В таблице 1 приведены сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий. Из приведенных данных можно сделать вывод, что в современном варианте энергоэффективного здания, задав срок окупаемости менее 10 лет, нецелесообразно использовать только фотоэлектрические элементы, срок использования которых подойдет через 4-9 лет.

Таблица 1 - Срок окупаемости мероприятий в зависимости от изменения стоимости энергии. $\alpha = 0,88$; $\rho = 0,13$

Энергоэффективная технология	Отношение $\Delta E/E_0$	Срок окупаемости, n, лет		
		$r_1=0,36$	$r_1=0,25$	$r_1=0,15$
утилизатор тепла сточных вод	0,4	<3	<3	<3
утепление до $R=5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$	0,06	9	7	6
солнечный коллектор	0,06	9	7	6
рекуператор тепла	0,04	11	9	7
фотоэлектрические элементы	0,01	19	14	11

Из результатов, приведенных в таблице 1 и данных на графике рис. 2 можно сделать вывод, что в стране созданы технико-экономические условия для строительства энергоэффективных зданий с оболочкой, утепленной до $5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, системой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов, солнечным коллектором и утилизацией тепла сточных вод. В то же время, следующей энергоэффективной системой может стать система электроснабжения с использованием фотоэлектрических батарей. Практическое экономически-обоснованное внедрение этой системы, предположительно, начнется с 2020 г.

2. Системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов

Сохранение вентиляционной системы с естественным побуждением в современных зданиях, привело к негативным явлениям, связанным с ухудшением качества воздушной среды, нарушением температурного и влажностного режимов помещений. К этому можно добавить, что в зданиях, строящихся по существующим нормативам, на вентиляционные выбросы приходится более 50% теплопотерь [4].

Проблемы с воздухообменом в квартирах современных многоэтажных зданий возникают вследствие системных недостатков вентиляции с естественным побуждением. Расчеты воздухопроницаемости современных ограждающих конструкций зданий не оставляют возможности обеспечить нормативный уровень воздухообмена.

Логика развития современного строительства приводит к необходимости перехода к проектированию энергоэффективных зданий с механической приточно-вытяжной системой вентиляции и утилизацией тепла вытяжного воздуха [4].

Существенным фактором, затрудняющим решение вопроса . необходимость дополнительных затрат на новую инженерную систему, которые можно уменьшить, перейдя одновременно с системой приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением к воздушному отоплению жилых зданий. Однако, при этом следует общий уровень теплопотерь здания снизить до величины, обеспечивающей совпадение кратности нормативного воздухообмена и необходимой кратности подачи воздуха в системе воздушного отопления [3].

Организация приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением в жилых зданиях требует решения ряда вопросов по выбору схемы забора воздуха и удаления его из помещений, определению необходимой производительности приточного и вытяжного вентиляторов, определению необходимых сечений приточных и вытяжных воздуховодов.

Переход к механической приточно-вытяжной системе вентиляции в многоэтажных зданиях требует новых решений в организации воздухообмена. Необходимо рассмотреть целесообразность сохранения в нормативных документах ряда ограничений, принятых для систем естественной вентиляции зданий:

- Запрет на объединение вентиляционных каналов туалета и кухни, что снижает эффективность системы утилизации тепла вентиляционных выбросов;
- Значительное разнесение входа приточного и выхода вытяжного каналов, что удорожает и усложняет систему вентиляции.

С целью минимизации использования дополнительной электрической энергии, связанной с работой вентиляторов, целесообразно использовать фотоэлектрическую батарею, рассчитанную на покрытие дополнительных затрат электрической энергии.

3. Утилизация тепла сточных вод

В современных зданиях наибольшая экономия тепловой энергии может быть достигнута путем утилизации вентиляционных выбросов из жилых помещений и сокращения расхода энергии на приготовление горячей воды [4]. Значительную долю в затратах энергии составляет горячее водоснабжение. При снижении общих энергопотерь на теплоснабжение до 25 кВт·ч/м² в год горячее водоснабжение зданий, составляющее в перерасчете на тепловую энергию около 100 кВт·ч/м² в год, будет составлять значительную часть энергии в системе энергоснабжения.

Снижение затрат энергии на приготовление горячей воды может быть достигнуто утилизацией тепла сточных вод здания.

Известно несколько схем утилизации тепла сточных вод, В [11] описан утилизатор, представляющий собой комбинированный теплообменник и накопитель, представленный трубой для подачи сточной воды, цилиндрическим корпусом, расположенным вокруг трубы, для соединения впуска в выпуск холодной воды таким образом, чтобы тепло от сточной воды передавалось холодной воде. В цилиндрическом корпусе установлены перегородки, которые размещают трубу через отверстия, придавая жесткость системе во время наполнения жидкостью. Множество комбинированных теплообменников и накопителей может быть соединено последовательно в ряд или в несколько рядов.

Известен утилизатор тепла сточных вод [12], представляющий собой теплообменник, состоящий из горизонтального контейнера для сточной воды, внутри которого расположена горизонтальная труба с холодной водой. Труба изготовлена из меди, для увеличения эффективности теплообмена труба выполняется с ребрами. Контейнер изготовлен из ABS пластика. Если температура поступающей сточной воды ниже температуры воды в контейнере открывается клапан и сточная вода протекает в обход контейнера.

К недостаткам описанных выше теплообменников можно отнести сравнительно небольшую площадь теплообменной поверхности трубы, следовательно, утилизатор будет иметь большие размеры.

Известен утилизатор [13] сточных вод, состоящий из фильтра, накопительной емкости, циркуляционного насоса и теплообменного контура, на первый вход которого поступает поток сточных вод, а на второй вход подается нагреваемая среда, один из выходов теплообменника связан с накопительной емкостью, а другой – со сточной канализацией. Теплоноситель и нагреваемая среда (водопроводная вода) циркулируют в теплообменных контурах теплового насоса. В качестве теплоносителя используют сточные воды банно-прачечного хозяйства угольной шахты, которые перед сбросом в канализацию предварительно аккумулируют в

теплоизолированной емкости и выполняют их последующую многократную циркуляцию в контуре испарителя теплового насоса до тех пор, пока теплоноситель не охладится до 5-10°C. Нагретая до 45°C среда – водопроводная вода, направляется в расходную емкость для использования по назначению - для горячего водоснабжения шахтной бани, а также прачечной.

Использование изобретения [13] позволяет создать более рациональный и эффективный способ утилизации тепла при малых объемах хозяйственно-бытовых сточных вод, но с относительно высокой остаточной температурой. Однако в [13] контроль над процессом циркуляции сточных вод не учитывает динамику изменения их количества, а также степень загрязненности фильтров на входе накопительной емкости для сточных вод, что определяет работоспособность системы в целом. Кроме того, управление задвижками, обеспечивающими распределение потоков сточных вод, осуществляется вручную, что снижает эффективность работы системы.

Задача дальнейшего повышения эффективности процесса утилизации тепла сточных вод решена в [14]. Решение основано на учете динамики изменения их количества и качества в ходе работы системы, обеспечение автоматизированных средств управления распределением потоков сточных вод. Схема системы утилизации представлена на рисунке 3.

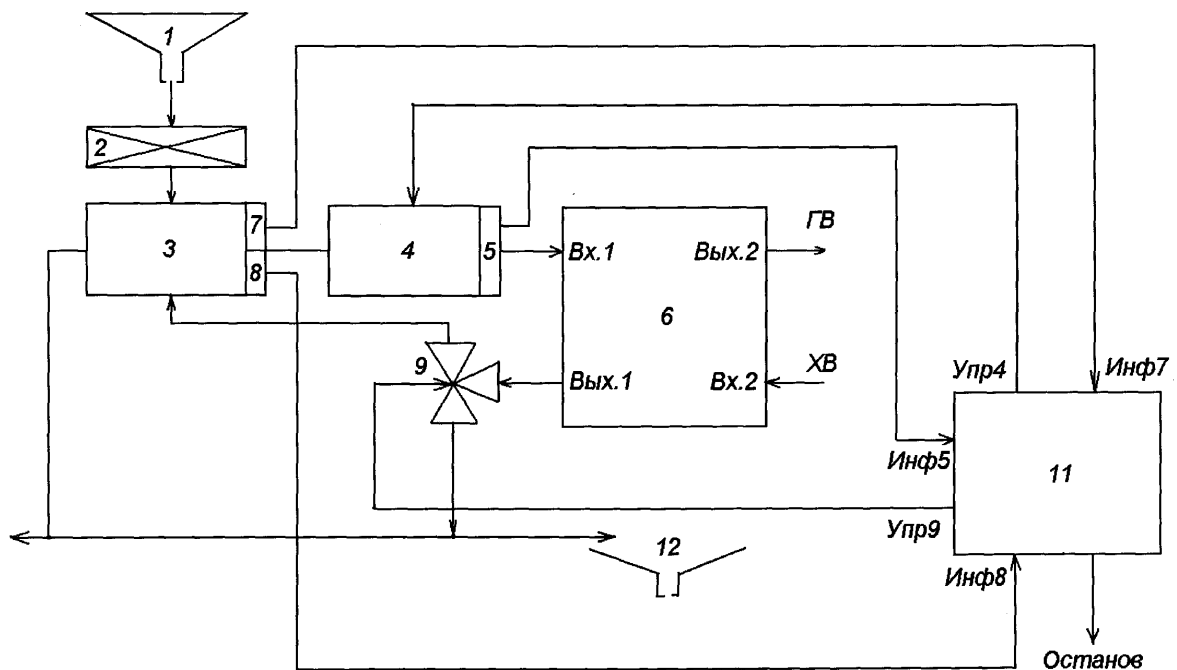


Рисунок 3 – Система утилизации тепла сточных вод

1 – источник сточных вод; 2 – фильтр; 3 – накопительная емкость; 4 – циркуляционный насос; 5 – счетчик расхода; 6 – тепловой насос; 7 – датчик верхнего уровня; 8 – датчик нижнего уровня; 9 – трехходовой клапан; 11 – блок обработки информации и управления; 12 – вход сточной канализации

Система в [14], состоит из фильтра, накопительной емкости, циркуляционного насоса и теплообменного контура с тепловым насосом, на первый вход которого поступает поток сточных вод, а на второй вход подается нагреваемая среда. В контуре циркуляции насоса 4 установлен счетчик расхода воды 5, выход которого соединен с входом блока обработки информации и управления 11, на выходе первичного контура теплообменника установлен управляемый трехходовой клапан 9, управляющий вход которого соединен с выходом блока обработки информации и управления 11, один из выходов клапана соединен со сточной канализацией 12, а второй – с накопительной емкостью 3, в которой дополнительно установлены датчик 7 верхнего уровня сточных вод и датчик 8 нижнего уровня сточных вод, а выходы датчиков соединены с блоком 11 обработки информации и управления с целью управления заполнением накопительной емкости 3 потоком сточных вод в зависимости от положений нижнего и верхнего уровней сточных вод в упомянутой емкости, при условии превышения показаний счетчика расхода воды 5 к пороговому значению, обусловленному пропускной способностью фильтра.

Система работает следующим образом. Сточные воды от источника 1 через фильтр 2 поступают в аккумулирующую емкость (бак-накопитель) 3. Посредством циркуляционного насоса 4 их поток направляется из бака-аккумулятора 3 на вход первичного контура насоса-теплообменника 6. Установленный в контуре циркуляции насоса счетчик расхода воды 5, выход которого соединен с входом блока обработки информации и управления 11, регистрирует количественные показатели потока. С выхода теплообменника 6 поток поступает на вход трехходового клапана 9 с целью дальнейшего распределения между баком 3 и канализацией 12. С выхода трехходового клапана сточные воды поступают в бак-аккумулятор 3 до тех пор, пока не сработает датчик верхнего уровня 7, сигнализирующий о заполнении бака. После срабатывания датчика 7, о чем свидетельствует появление сигнала *Инф7* на соответствующем входе блока 11, последний вырабатывает управляющий сигнал *Упр9* на трехходовой клапан 9, посредством которого перекрывается канал поступления потока в бак 3 и открывается канал, по которому сточные воды направляются с выхода теплообменника в сточную канализацию 12. При опустошении бака 3 срабатывает датчик нижнего уровня 8, о чем свидетельствует появление сигнала *Инф8* на соответствующем входе блока 11, последний вырабатывает управляющий сигнал *Упр9* на трехходовой клапан 9, посредством которого сточные воды снова направляются в бак-аккумулятор 3, при этом канал, ведущий к канализации 12, клапаном 9 перекрывается.

При уменьшении показаний счетчика расхода воды 5 ниже установленного порога указанный счетчик вырабатывает сигнал на соответствующем входе *Инф5* блока управления 11, который далее формирует управляющий сигнал *Упр4*, по которому выключается циркуляционный насос 4, и вырабатывает сигнал аварии, приводящий к

остановке работы системы, при этом соответствующая служба должна выполнить чистку фильтров в системе.

В результате нескольких циклов оборота потока сточных вод через бак-накопитель 3 и тепловой насос 6 с теплообменным контуром происходит повышение температуры нагреваемой среды, например, водопроводной воды, поступающей на второй вход теплообменника. Горячая вода (ГВ) со второго выхода теплообменника 6 поступает по назначению своего использования – для хозяйственно-бытовых нужд.

В схеме утилизации тепла используются пластинчатый теплообменник и циркуляционный насос. Тепло, утилизированное пластинчатым теплообменником, используется для подогрева воды в системе ГВС жилого дома.

Возможно несколько режимов работы представленной схемы утилизации тепла сточных вод жилых зданий:

- а) Вода после насоса сразу уходит в канализационные стоки.
- б) Вода после циркуляционного насоса по показаниям датчика нижнего уровня жидкости через регулируемый клапан трехходовой возвращается в бак-аккумулятор. Данный режим характеризуется непрерывной работой циркуляционного насоса и потерями электрической энергии на циркуляцию воды в контуре «бак-накопитель + пластинчатый теплообменник + циркуляционный насос + бак-накопитель».
- в) Циркуляционный насос по показаниям датчика нижнего уровня жидкости отключается. Данный режим характеризуется остановками в работе циркуляционного насоса, что может сократить сроки его эксплуатации и надежность его работы. Необходимо определить объем бака-накопителя и производительность циркуляционного насоса.
- г) Имеет место ограничение на размеры бака-накопителя при невозможности его установки, кроме как в подвале дома, сточные воды которого утилизируются. Этот режим характерен сливом избыточных сточных вод в канализационные стоки, минуя систему утилизации тепла, что приводит к уменьшению эффективности утилизации тепла сточных вод жилого дома.
- д) Вода после насоса непосредственно уходит в канализационные стоки. Утилизации тепла сточных вод жилого дома с использованием циркуляционного насоса с трехступенчатым регулированием.

В режимах а), б), в), д) и е) необходимо определить объем бака-накопителя и производительность циркуляционного насоса. В режиме г), поскольку объем бака-накопителя задан, необходимо определить производительность циркуляционного насоса и потери сточных вод исследуемого жилого дома, предназначенных для утилизации тепла горячего водоснабжения.

4. Использование солнечной энергии в системе энергоснабжения здания

К настоящему времени основными способами использования солнечной энергии являются преобразование ее в электрическую и тепловую.

Прямое преобразование энергии солнечного излучения в электроэнергию осуществляется в солнечных фотоэлектрических установках с помощью фотопреобразователей.

Солнечная фотоэлектрическая установка состоит из солнечных батарей в виде плоских прямоугольных поверхностей, работа которых состоит в преобразовании энергии солнечного излучения в электрическую энергию. Электрический ток в фотоэлектрическом генераторе возникает в результате процессов, происходящих в фотоэлементах при попадании на них солнечного излучения. Наиболее эффективны фотоэлектрические генераторы, основанные на возбуждении электродвижущей силы (ЭДС) на границе между проводником и светочувствительным полупроводником (например, кремний) или между разнородными проводниками.

Наибольшее распространение получили солнечные фотоэлектрические установки на основе кремния трех видов: монокристаллического, поликристаллического и аморфного.

Для фотопреобразователей из монокристаллического кремния в лабораторных условиях на опытных образцах достигнут КПД 24%. На малых опытных модулях - 18%. Для поликристаллического кремния эти рекордные значения равны 17 и 16%, для аморфного кремния на опытных модулях достигнуты КПД около 11%.

Все эти данные соответствуют так называемым однослойным фотоэлементам. Кроме того, используются двух- и трехслойные фотоэлементы, которые позволяют использовать большую часть солнечного спектра по длине волны солнечного излучения. Для двухслойного фотоэлемента на опытных образцах получен КПД 30%, а для трехслойного 35-40%.

Технико-экономические показатели солнечных энергетических установок (СЭУ) определяются, прежде всего, параметрами и стоимостью солнечных элементов. Мировое производство гелиоэлектрических систем в 1985 году составляло 21 МВт. В таблице 4 приведены данные суммарной мощности фотоэлектрических станций [39] в различных странах и во всем мире на 2010 год. Очевидно стремительное развитие гелиоэнергетики, которое и в дальнейшем будет продолжаться.

Системы горячего водоснабжения с использованием солнечных коллекторов широко распространены во многих странах, например, Израиль, Турция, где они покрывают около 100% потребности в горячей воде.

Солнечные коллекторы в системах энергоснабжения зданий широко используются также в странах Западной Европы.

Солнечная энергетика активно развивалась в СССР. Наибольшее распространение солнечные коллекторы получили в Краснодарском крае и в Крыму. В [15] приведены данные о более чем 12 научно-исследовательских институтах, которые занимались разработкой солнечных коллекторов и систем энергоснабжения зданий с их использованием. По данным 1992 г. [16] в СССР эксплуатировалось около 50000 м² гелиоустановок. В [15] имеется информация, что в 1990 г. в СССР было выпущено 91000 м² солнечных коллекторов, в основу конструкции которых были положены штампованные теплопоглощающие панели. Основными производителями солнечных коллекторов были Братский завод «Сибтепломаш», Бакинский завод по обработке сплавов цветных металлов и объединение «Спецгелиомонтаж». Доступность и дешевизна классических видов энергии не способствовали распространению альтернативных ее источников, а порой приводили и к саботажу энергосбережения.

Применение солнечных коллекторов в качестве основного источника для отопления в зимний период в Беларуси невозможно из-за небольшой продолжительности светового дня, но гелиосистема может обеспечить значительную экономию в части потребления классических видов топлива, существенно дополняя баланс энергопотребления.

Основными элементами систем солнечного теплоснабжения являются солнечный коллектор, в котором нагревается вода или воздух, водяной бак-аккумулятор, дополнительный нагреватель или котел [17, 18].

5. Тепло грунта – повсеместно доступный источник возобновляемой энергии

Одним из перспективных направлений в теплоснабжении зданий является использование тепловой энергии Земли. Существует два вида тепловой энергии поверхностных слоев земли – высокопотенциальная и низкопотенциальная. Высокопотенциальная тепловая энергия представляет собой гидротермальные ресурсы, подразумевающие нагретые воды в результате геологических процессов до достаточно высокой температуры. Однако использование данной энергии в теплоснабжении ограничено расположением объекта в определенном геологическом районе. Например, в России данные ресурсы преобладают в районе Кавказских минеральных вод и на Камчатке. А в Европе горячие источники присутствуют в Венгрии, Исландии и Франции. Главным отличием низкопотенциальной тепловой энергии земли от высокопотенциальной является возможность ее повсеместного использования. Использование низкопотенциальной энергии осуществляется с помощью тепловых насосов. Под тепловым насосом подразумевается устройство для переноса тепловой энергии от источника с низкой температурой к потребителю с более высокой температурой. Принцип работы теплового насоса аналогичен принципу работы холодильной машины. Отличием является то, что холодильная машина производит холод путем отбора теплоты из объема испарителем, а конденсатор производит сброс теплоты в окружающую среду, тогда как в тепловой насос работает наоборот. То есть конденсатор служит для теплообмена, выделения теплоты для потребителя, а утилизация низкопотенциальной энергии осуществляется испарителем.

Низкопотенциальную тепловую энергию земли используют для теплоснабжения, горячего водоснабжения, холодоснабжения, а также для подогрева дорожек в зимнее время года, устранение обледенения, подогрева полей на стадионах и т.д.

Реализатором идеи грунтовых (земляных) геотермальных тепловых насосов, которые получили в дальнейшем реальное практическое применение особенно для северных стран, считается изобретатель-энтузиаст Роберт Вебер (Robert C. Webber) [19].

В середине 40-х годов XX столетия Вебер случайно прикоснулся к горячей трубе на выходе из морозильной камеры и понял, что тепло просто выбрасывается наружу. Изобретатель задумался над тем, как использовать это тепло, и решил поместить трубу в бойлер для нагрева воды. В результате Вебер обеспечил свою семью таким количеством горячей воды, которое они физически не могли использовать, при этом часть тепла от нагретой воды попадала в воздух. Это подтолкнуло его к мысли, что от одного источника тепла можно нагревать и воду, и воздух одновременно, поэтому Вебер усовершенствовал свое изобретение и начал прогонять горячую воду по

спирали (через змеевик) и с помощью небольшого вентилятора распространять тепло по дому с целью его отопления. Со временем именно у Вебера появилась идея «выкачивать» тепло из земли, где температура не слишком изменялась в течение года. Он поместил в грунт медные трубы, по которым циркулировал фреон. На сегодняшний день такая технология извлечения тепла с грунта называется непосредственным кипением и считается самой эффективной.

6. Техническое задание на разработку инженерного оборудования для экспериментальных зданий

Сегодня, белорусское правительство ставит задачу перейти к массовому строительству энергоэффективных зданий, которые соответствуют новым стандартам ЕС. Тем не менее, несмотря на наличие технических средств и материалов, а также возможности применять новые технологии, все еще существуют определенные технические, законодательные, организационные, экономические и технологические барьеры, препятствующие повышению энергоэффективности в жилых зданиях в Беларуси.

Целью проекта, запланированного на 4 года, является снижение потребления энергии при строительстве и эксплуатации жилых зданий и соответствующее сокращение выбросов парниковых газов. Основное внимание в проекте будет уделено разработке и обеспечению эффективного внедрения новых методов проектирования жилых зданий и строительных норм с соответствующими схемами сертификации достигнутых значений энергоэффективности.

В частности, проект призван реализовать пилотные проекты (3 проекта) для демонстрации энерго- и затратосберегающего потенциала мер энергосбережения на примере трех жилых зданий в двух городах Беларуси.

Ниже приведены основные требования к энергосберегающим мероприятиям для выполнения на пилотных проектах в гг. Минск и Гродно.

1. Обеспечить выполнение удельных показателей по потреблению тепловой энергии на эксплуатацию жилых зданий конструктивных систем:

- девятнадцатизэтажное панельное здание серии 111-90 МАПИД, в г. Минске;
- десятиэтажный энергоэффективный жилой дом ЖБВК-398 по ул. Держинского в г. Гродно;
- девятиэтажное здание конструкции «сборный каркас» в г. Могилеве.

2. Разрабатываемые решения должны удовлетворять условию возможности повторного применения в зданиях массовой застройки.

3. Должен быть определен требуемый для энергоэффективного здания уровень теплозащиты ограждающих конструкций.

4. Выполнить расчеты значений приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, в том числе с применением расчета температурных полей, а также определены требования к эффективности системы рекуперации тепла вентиляционных выбросов.

5. Выполнить расчеты теплотерь помещений здания с учетом принятого уровня теплозащиты ограждающих конструкций и системы вентиляции с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов.

6. Выполнить технико-экономическое обоснование и расчеты энергосберегающих решений при проектировании объектов.

7. Разработать индивидуальные тепловые пункты зданий с использованием теплового насоса скважинного типа и возможностью подключения к тепловым сетям в качестве резервного источника.

8. Предусмотреть двухтрубную систему отопления с температурой теплоносителя не выше 45°C использованием:

- напольного отопления на кухне и в ванной комнате;
- воздушного отопления, совмещенного с системой принудительной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов в жилых помещениях.

9. Предусмотреть индивидуальный учет тепловой энергии на отопление с помощью электронных счетчиков с возможностью диспетчеризации данных.

10. Предусмотреть отдельный учет тепловой энергии на отопление мест общего пользования.

11. Предусмотреть отдельный учет тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение.

12. Разработать раздел энергосберегающих квартирных систем вентиляции с утилизацией тепла вентиляционных выбросов.

13. Разработать раздел «Водоснабжение и канализация» с использованием следующих технических решений:

- предварительный нагрев холодной воды тепловым насосом, получающим низкопотенциальную теплоту от фундаментных свай;
- разделение канализационных стояков для фекальных и серых стоков;
- утилизацию теплоты серых сточных вод в составе последовательно расположенных:
 - рекуперативного теплообменника;
 - теплового насоса;
 - солнечный коллектор для нагрева воды до нормативных требований.
 - тепловой аккумулятор горячей воды.

14. В разделе «электроснабжение здания» предусмотреть фотоэлектрическую систему, покрывающей затраты электрической энергии на питание вентиляторов в системах вентиляции квартир и освещения мест

общего пользования в комбинации с внешним источником с продажей вырабатываемой энергии в энергосистему.

15. Предусмотреть отдельный некоммерческий учет электрической энергии, потребляемой приточно-вытяжными установками с утилизацией теплоты удаляемого воздуха с дистанционной передачей информации.

16. Разработать раздел автоматизации, управления и диспетчеризации квартирных систем отопления и вентиляции с утилизацией тепла вентиляционных выбросов и возможностью дистанционной передачи данных по квартирному расходу тепловой энергии и расходу холодной и горячей воды, общих счетчиков и регуляторов потребления тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение.

17. Разработать теплоэнергетический паспорт объекта в соответствии с ТКП 45-2.04-196-2010.

18. Разработать общие положения по эксплуатации зданий.

19. Выполнить технико-экономические обоснования (при необходимости).

20. Согласовать разработанную документацию с заказчиком и заинтересованными государственными органами.

21. Передать заказчику весь объем разработанной документации в сроки, согласованные сторонами.

22. Оформлять разработанную документацию в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь и требованиями ПРООН.

23. В составе проекта получить положительное заключение государственной экспертизы.

Проектная организация:

- согласовывает все свои действия и отчетывается перед менеджером проекта;
- обеспечивает своевременное и качественное исполнение требований технического задания;
- обеспечивает безусловное выполнение требований, оговоренных в контракте;
- предоставляет материалы выполненных работ в ГРП проекта ПРООН/ГЭФ (на имя менеджера проекта) для комментариев и согласования.

Конкретные обязанности включают, в частности, реализацию следующих задач:

- содействовать группе управления Проектом в планировании и организации осуществления компонентов проекта, связанных с

реализацией работ по проектированию, строительству и научному сопровождению экспериментальных объектов, выполняемых в рамках проекта:

- разрабатывать и, при необходимости, согласовывать документы, предусмотренные техническим заданием;
- выполнять научное сопровождение проектирования и строительства экспериментальных объектов;
- выполнять разделы проекта, обеспечивающие достижение запланированных в ТЗ удельных показателей экспериментальных зданий по затратам тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение;
- оказывать содействие Руководителю Проекта по организации сотрудничества с партнерами проекта по проектированию и строительству экспериментальных зданий;
- содействовать группе управления Проектом в области мониторинга и оценки эффективности и результатов демонстрационных проектов в стадии реализации, в том числе при проведении расчетов экономии энергии и связанных с ним сокращением выбросов парниковых газов, исходя из мероприятий по повышению энергоэффективности, планируемых и осуществляемых в рамках пилотных проектов.

Заключение

В отчете рассмотрены новые технические решения, которые могут быть использованы при строительстве энергоэффективных зданий в Республике Беларусь.

Технико-экономический анализ показал, что наиболее эффективно использование следующих инженерных систем:

- системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов;
- утилизация теплоты сточных вод;
- солнечные тепловые коллекторы.

Дополнительно к указанным рассмотрена возможность использования в системе энергоснабжения зданий энергии грунта с использованием теплового насоса

Выполнен краткий обзор использования указанных систем в жилых зданиях.

Разработано техническое задание для инженерного оборудования энергоэффективных зданий.

Источники

- 1 Ю. А., Бродач, М. М., Шилкин, Н. В. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
- 2 Селиванов, Н. П. Энергоактивные здания / Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Заколей и др. – М.: Стройиздат. – 1988. – 376 с.
- 3 Feist, W. Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser / W. Feist - Verlag das Beispiel, 2001.
- 4 Данилевский, Л. Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий / Л. Н. Данилевский. // Бизнесофсет, – Минск, 2011. – 375 с.
- 5 Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. – М.: АН СССР, 1966.
- 6 Дмитриев, А. Н., Табунщиков, Ю. А., Ковалев, И. Н., Шилкин, Н. В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А. Н. Дмитриев, Ю. А. Табунщиков, И. Н. Ковалев, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
- 7 Данилевский, Л. Н. Методика расчета экономической целесообразности энергоэффективных мероприятий / Л. Н. Данилевский // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – с. 12 – 17.
- 8 Данилевский, Л. Н. Архитектура и энергоэффективность зданий / Л. Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2009. – № 10 - с. 20-25
- 9 Steinemann, U., DeMartin, A., Meierhans, R. Energie-effiziente lufttechnische Anlagen. Bundesamt für Konjunkturfragen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten / Steinemann, U., DeMartin, A., Meierhans, R // Verein, Bern, Ravel, 1993, 138 S.
- 10 Knissel, J. Modellieren von Erdreichwärmetauschern mit Konzentrationsfaktor-Methode / J. Knissel. – Darmstadt: Institute Wohnen und Umwelt, 1999. – 30 S.
- 11 Bernier, H, Paris, J. Evaluation of a soil heat exchanger-storage system for a greenhouse. / H. Bernier, J. Paris, J. – Canadian Agricultural Engineering. 1999ю – 93-105.
- 12 A waste water heat recovery system: patent № 2379009 GB, F24D17/00, F24H1/12. / David Thomas, Peter Thomas.

13 Способ утилизации низкопотенциального тепла хозяйственных сточных вод: Патент на изобретение № 2243460 РФ, F25B30/00. / Д.Г. Закиров, И.И. Боринских, А.В. Аксинов.

14 Данилевский, Л.Н. Система утилизации тепла сточных вод: заявка № а20100736 Респ. Беларусь / Л.Н. Данилевский//, заявитель Государственное предприятие «Институт НИПТИС», заявл. 14.05.2010.

15 Бутузов, В. А. Солнечные коллекторы в России и на Украине.: конструкции и технические характеристики / В. А. Бутузов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 1. – с.37–40.

16 Тарнижевский, Б. В. Солнечные коллекторы нового поколения. / Б. В. Тарнижевский // Теплоэнергетика. – 1992. – №4, с.23-26.

17 Системы солнечного тепло-и хладоснабжения/ Р.Р. Авезов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева др.: Под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича- М.: Стройиздат, 1990.-328 с.

18 Коллекторы солнечные. Общие технические условия: ГОСТ 28310-89. М.: Государственный комитет по стандартизации и сертификации, 1989 г.

19 http://geo-comfort.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=69