

УДК 662.995 + 662.997 + 536.242

**Трофименко А.В.¹, Дубов М.Ю.¹, Лапко Д.П.², Назаренко М.А.³,
Подлепич В.Ю.⁴, Безнощенко Д.В.⁴**¹ Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара² ООО Термостандарт, г. Днепропетровск³ ООО Технотур, г. Днепропетровск⁴ ООО Инсолар ЮСВ, г. Днепропетровск

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДОМА

Показано, що система сонячних колекторів забезпечує безперебійне постачання теплом всієї системи теплопостачання будинку впродовж 7,5 місяців на рік і тільки з середини жовтня по середину березня кількість тепла, віддане в загальну систему теплопостачання складає 30...45 %. Встановлено, що співпадіння результатів розрахунків з експлуатаційними даними задовільне і дозволяє стверджувати про можливість використання отриманих співвідношень для аналізу роботи геліопрофілю ТЕПС в різноманітних кліматичних умовах.

Показано, что солнечные коллекторы обеспечивают бесперебойное снабжение теплом всей системы теплоснабжения здания на протяжении 7,5 месяцев в году и только с середины октября по середину марта количество тепла, отданное в общую систему теплоснабжения, составляет 30...45 %. Установлено, что совпадение результатов расчетов с экспериментальными данными удовлетворительное и позволяет судить о возможности использования полученных соотношений для анализа работы гелиопрофиля ТЭПС в различных климатических условиях.

It is shown, that the system of solar collectors provides uninterrupted supply by heat all system of a heat supply a building throughout 7,5 months in a year and only from the middle of october on the middle of march the quantity of heat given to the general system of a heat supply makes 30...45 %. It is established, that coincidence of results a calculations to experimental data satisfactory and allows to judge possibility of use the received parities for the work analysis of gelioprofile TEPS in various climatic conditions.

c_p – теплоемкость теплоносителя;
 Q – количество тепловой энергии;
 \dot{m} – расход теплоносителя;

Δt – разность температур на входе и выходе из гелиоколлектора;
 τ – интервал времени.

Существующее многообразие использования различных конструкций солнечных коллекторов и схемных решений систем теплоснабжения [1–4] не позволяет однозначно ответить на вопросы, что и какая конструктивная схема лучше в энергетическом смысле, надежная и дешевле в экономическом отношении. Известные в литературе данные [1, 2] об эксплуатации солнечных энергоустановок не дают обобщенных данных, способных применить к конкретному строению. Поэтому увеличение базы экспериментальных данных по теплотехническим характеристикам подобных систем теплоснабжения является крайне важным для определения и подхода к рациональному проектированию.

Цель работы – получить практические рекомендации по выбору рабочих параметров эксплуатации солнечной системы теплоснабжения.

В работе рассматриваются солнечные коллекторы, которые собирались из профиля ТЭПС [4, 5] и представляли собой четыре ската общей площадью 286 м², интегрированные в кровлю здания. Часть кровли изготовлена из профиля ТЭПС следующим образом. Профили ТЭПС с предварительно нанесенным селективным покрытием на тепловоспринимающей поверхности соединяются друг с другом с помощью боковых замков. Для гидроизоляции в местах соединения устанавливается П-образная резиновая прокладка. Собранные профили

образуют скат, который устанавливается на теплоизоляционный полиуретановый слой толщиной 50 мм и деревянный настил самой крыши. Сверху скат покрывается прозрачным листом из ячеистого поликарбоната толщиной 10 мм. Причем между прозрачным покрытием и верхней поверхностью ската выдерживается воздушный зазор 5...7 мм, который достигается за счет установленных между ними прокладок из поликарбоната. Такая конструкция гелиоколлектора позволяет свести к минимуму тепловые потери в окружающую среду, которые составляют не более 4,5 Вт/(м²·град). Угол установки скатов относительно горизонтальной поверхности составлял 22°, что позволяло принимать солнечное излучение в течение суток и года, близкое к нормальному. Характерные размеры каждого ската и расположение на доме приведены в табл. 1.

На рис. 1 приведена общая схема энергоактивного 2-х этажного дома, которая состоит из трех блоков: гелиоблока, гидромеханического и теплообменного блока, блока сезонного аккумулирования тепла.

Схема работает следующим образом. Теплоноситель, в качестве которого используется незамерзающая жидкость, например, пропиленгликоль, циркуляционными насосами 3 подается через систему подводящих патрубков в тепловоспринимающие панели ТЭПС, которые в совокупности представляют собой скаты № 1...5 гелиоконтуров. Учитывая, что количество профилей ТЭПС в каждом скате различно, то для обеспечения одинаковой скорости теплоносителя в профиле предварительно отрегулировали расходы через питающие коллекторы скатов с помощью вентиля 2.

Нагретый теплоноситель поступает в теплообменники 5 и циркулирует в этом контуре до тех пор, пока температура его на выходе из скатов не станет равной заданной (в зависимости от настройки режима работы «зима-лето», в нашем случае это 30...50 °С). Далее включается циркуляционный насос гидромеханического контура и начинает прокачивать теплоноситель во втором контуре теплообменника 5, который поступает в оперативный бак 7 для отдачи тепла теплоносителю в тепловом насосе для систем отопления и горячего водоснабжения. Трехходовой клапан 6а (К1) пропускает теплоноситель либо в бак-аккумулятор 8, либо в сезонный грунтовый аккумулятор 9 в зависимости от заданной программой температуры.

Во втором контуре часть тепла идет на нагрев теплоносителя для теплового насоса в оперативном баке 7 и на подогрев бака-аккумулятора 8, а часть тепла идет на зарядку сезонного грунтового аккумулятора тепла 9. Трехходовой клапан 6 (К2), который с помощью системы управления в зависимости от температуры поступающего теплоносителя на выходе из гелиоблока, обеспечивает сброс избыточного тепла в летнее время от гелиоколлекторов на зарядку грунтового аккумулятора 9. Причем открытие К2 на сбрасывание избыточного тепла осуществляется при достижении теплоносителем температуры, наперед заданной, в нашем случае это происходит при температуре 70 °С. В зимнее время года, когда инсоляция гелиоколлекторов недостаточна, клапан К1 переключает подачу теплоносителя из грунтового аккумулятора 9 и таким образом обеспечивается низкопотенциальное тепло для работы теплового насоса в системе отопления и горячего водоснабжения.

Табл.1. Размеры и параметры ската

№ ската	1	2	3	4	5
Направление расположения	Юго-восточное	Юго-восточное	Юго-западное	Юго-западное	Юго-западное
Габариты, м ²	87	61	19,5	66,5	52
Угол установки β, град.	22	22	22	22	22

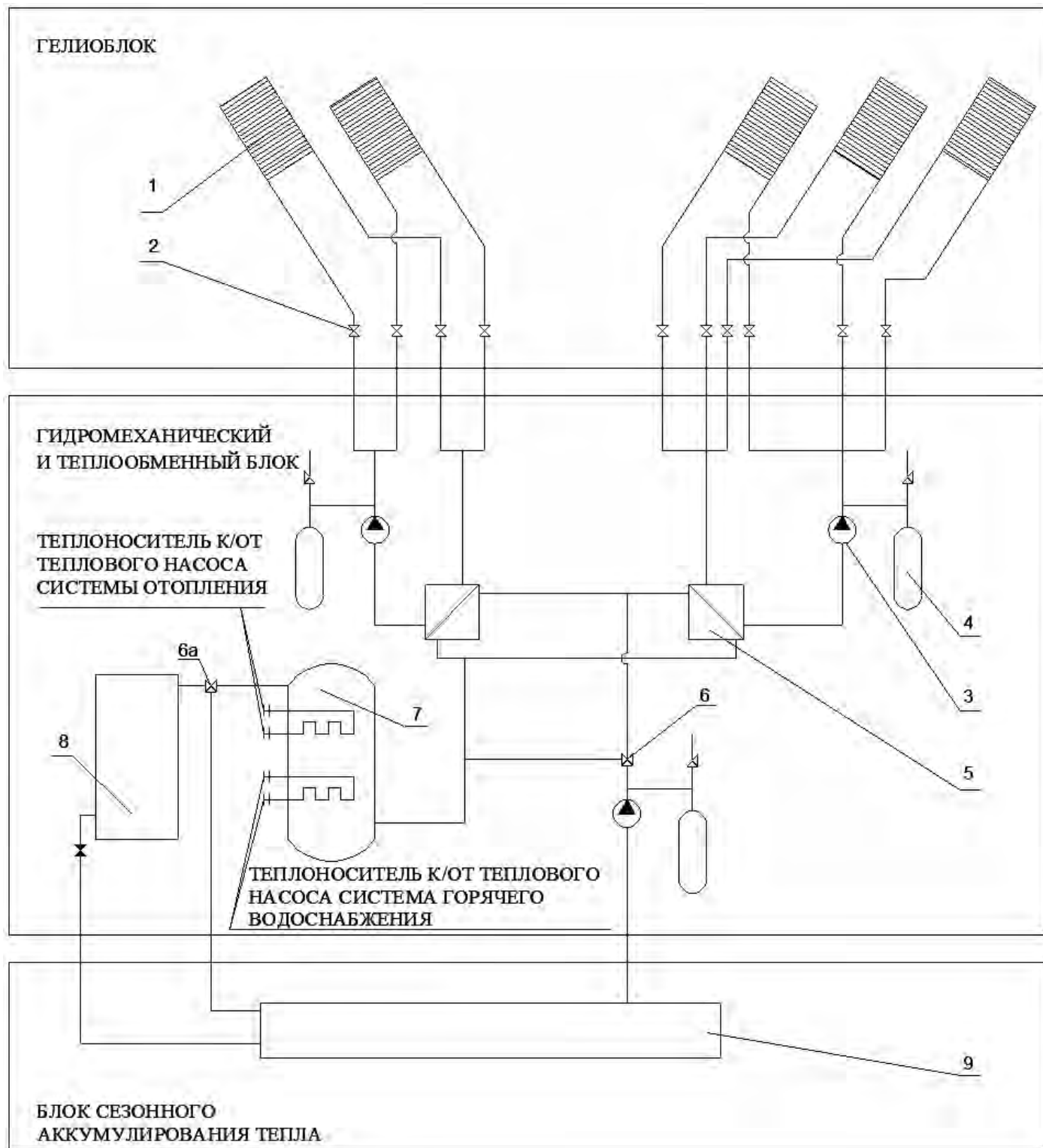


Рис. 1. Схема энергоактивного дома с сезонным аккумулятором тепла:
 1 – скаты с гелиоколлекторами; 2 – регулирующие вентили; 3 – насос; 4 – расширительный бачок с дренажным клапаном; 5 – теплообменник; 6, 6а – трехходовые клапаны; 7 – оперативный бак; 8 – бак-аккумулятор; 9 – сезонный грунтовый аккумулятор.

На работе блока сезонного аккумулирования тепла не останавливаемся, т.к. она подробно изложена и проанализирована в работе [3].

Внешний и внутренний осмотр крыши показал, что отсутствуют какие-либо проникновения воды, недопустимые прогибы и остаточные деформации профиля ТЭПС, термическое вспучивание прозрачного покрытия за рассматриваемый период. Несмотря на критические нагрузки, приходящиеся на кровлю: ураганный ветер со скоростью порядка 13 м/с; высота снежного покрова 300...350 мм; температура приемной поверхности ската – до 80 °С.

Результаты измерений дневной и помесечной падающей радиации на скаты гелиосистемы представлены в табл. 2.

Солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность, измерялось головкой пиранометра М-115 М (спектральный диапазон 0,3...24 мкм), затем пересчитано для наклонной поверхности с углом наклона 22°.

Для определения преобразованной тепловой энергии в гелиоколлекторах измерялась разность температур теплоносителя на входе

и выходе из гелиоколлектора Δt с помощью датчиков температуры Pt-1000 и объемный расход теплоносителя на выходном трубопроводе каждого ската гелиоколлекторов ультразвуковым расходомером Днепр-7 (ТУ 4213-072-00236494-2007). Показания снимались через каждые 30 минут работы гелиоконтуров и выводились на пульт автоматического управления всей системы теплоснабжения в виде таблиц и хранились в памяти персонального компьютера для последующей совместной обработки. Зная теплоемкость теплоносителя c_p (пропиленгликоль), его расход через гелиоколлектор \dot{m} вычислялось количество преобразованной солнечной энергии в тепловую энергию теплоносителя за определенный интервал времени τ (световой день, месяц) по известному соотношению

$$Q = c_p \cdot \dot{m} \cdot \Delta t \cdot \tau.$$

Результаты определения в реальных условиях преобразованной солнечной радиации на скатах позволяют исследовать систему теплоснабжения на изменение ее параметров в зависимости от сезонных климатических условий;

Табл. 2. Преобразованное солнечное излучение в гелиоколлекторах площадью 286 м²

Месяц	Средняя температура воздуха, °С	Дневной интервал инсоляции, ч	Преобразованная энергия в гелиоколлекторах	
			Среднесуточная, МДж/м ²	Среднемесячная*, 10 ² МДж/м ²
1	-6,4	8-16	1,19	0,368
2	-6,8	8-17	2,74	0,768
3	-0,4	7-18	5,98	1,856
4	8,2	7-19	7,71	2,312
5	15,4	6-19	10,37	3,216
6	19	5-20	11,58	3,472
7	21,6	5-20	12,31	3,851
8	20,3	6-19	12,52	3,804
9	15,0	6-19	9,67	2,905
10	9,0	7-18	5,56	1,723
11	1,4	8-17	2,21	0,664
12	-3,6	9-16	1,01	0,312

* Определяли на основании замеров разности температур на входе и выходе теплоносителя в гелиосистему как среднее для трех дней в первую, вторую и третью декады месяца.

проанализировать динамику процесса теплообмена в гелиопрофиле ТЭПС солнечного коллектора.

Суммарный суточный приход солнечной радиации на наклонную под углом 22° к горизонту поверхность гелиоколлекторов значительно изменяется в течение года (рис. 2, кривые 1, 2). В июле он максимальный 5,25, а в декабре он составляет 0,44 кВт·ч/(м² сут).

Нагрузка горячего водоснабжения (рис. 2, кривая 3) постоянна в течение всего года, принималась из расчета 105 л/(чел. сут.) [6] с температурой 55°C .

Нагрузка на отопление (см. рис. 2, кривая 4) получена на основе климатологических данных г. Днепропетровска [7] и санитарных норм микроклимата в жилых зданиях [8]. В расчетных оценках принято, что тепловые потери дома составляют не более 100 Вт/м^2 .

Отопление в доме представляет собой систему «теплый пол» с температурой теплоносителя в пределах $26\dots35^\circ\text{C}$.

Следует отметить, что рассматриваемая солнечная система теплоснабжения дома предназначена не как самостоятельная, а дополнительная система, позволяющая покрыть 65...70 % всей тепловой нагрузки, что оправдало расчетные предположения в результате одного года эксплуатации.

При допустимом совпадении результатов эксперимента и расчета возможно применение предлагаемой конструкции гелиоколлектора различной геометрии ската и в более сложной схеме системе теплоснабжения.

В результате анализа эксплуатационных характеристик на протяжении года (с 20 августа 2009 года по 20 августа 2010 года) солнечных коллекторов (рис. 3, 4), выполненных из

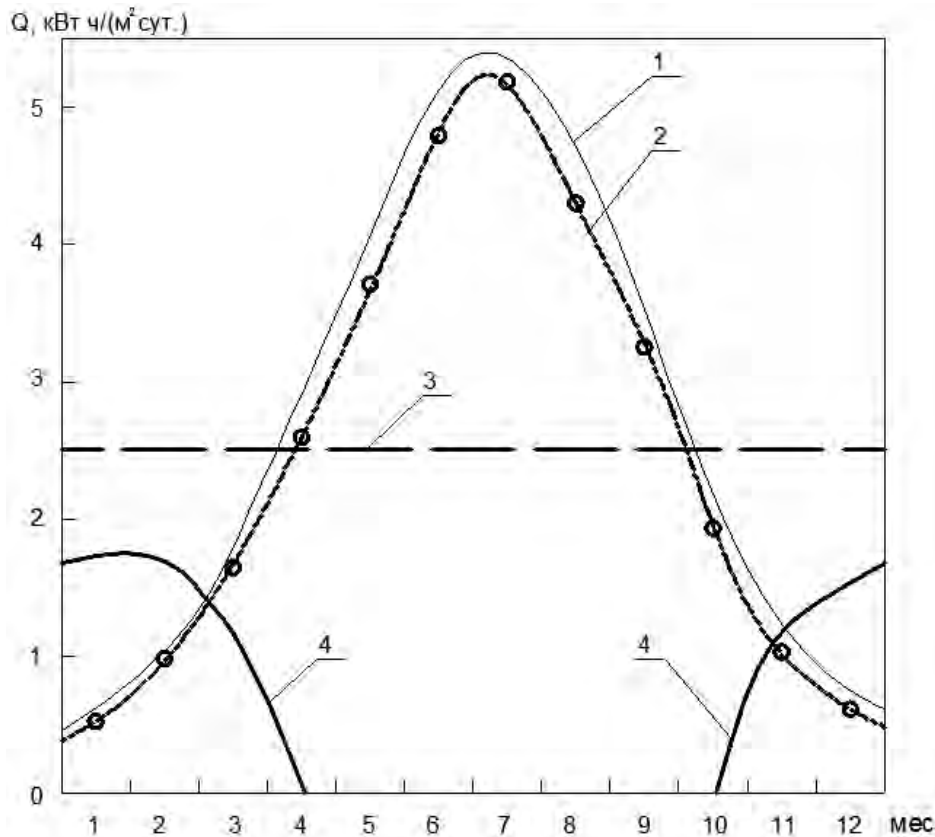


Рис. 2. Изменение суточной энергии в течение года:
 1, 2 – суммарный приход солнечной радиации на наклонную поверхность гелиоколлекторов, расчетное и измеренное, соответственно;
 3 – тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, кВт·ч/(чел. сут.); 4 – отопление.

гелиопрофиля ТЭПС, и интегрированных в крышу здания можно сделать выводы, что:

1) система солнечных коллекторов обеспечивает бесперебойное 90...100 % снабжение теплом всей системы теплоснабжения здания на протяжении 7,5 месяцев в году и только с середины октября по середину марта количество тепла, отданное в общую систему теплоснабжения, составляет 30...45 %;

2) обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов (газа, электричества) для теплоснабжения дома, что позволяет их использовать и в других объектах коммунально-бытовой сферы;

3) совпадение результатов расчетов с экспериментальными данными (рис. 2, 3, 4) удовлетворительное и позволяет судить о возможности использования полученных соотношений для анализа работы гелиопрофиля ТЭПС

в различных климатических условиях;

4) гелиоколлекторы не обязательно устанавливать в направлении строго на юг, если это позволяет конструкция крыши здания, можно часть площади гелиоколлекторов (приблизительно до 45...50 %) располагать в юго-восточном, а другую часть – в юго-западном направлениях;

5) конструктивное выполнение скатов из гелиопрофиля ТЭПС обеспечивает герметичность (отсутствие проникновения атмосферной влаги), жесткость и прочность тех участков крыши, где они интегрированы.

Естественно, что анализируемые результаты эксплуатации такого энергоактивного дома не являются окончательными, но некоторые выводы подтверждают правильность принятых ранее допущений в расчетах и при проектировании системы теплоснабжения дома.

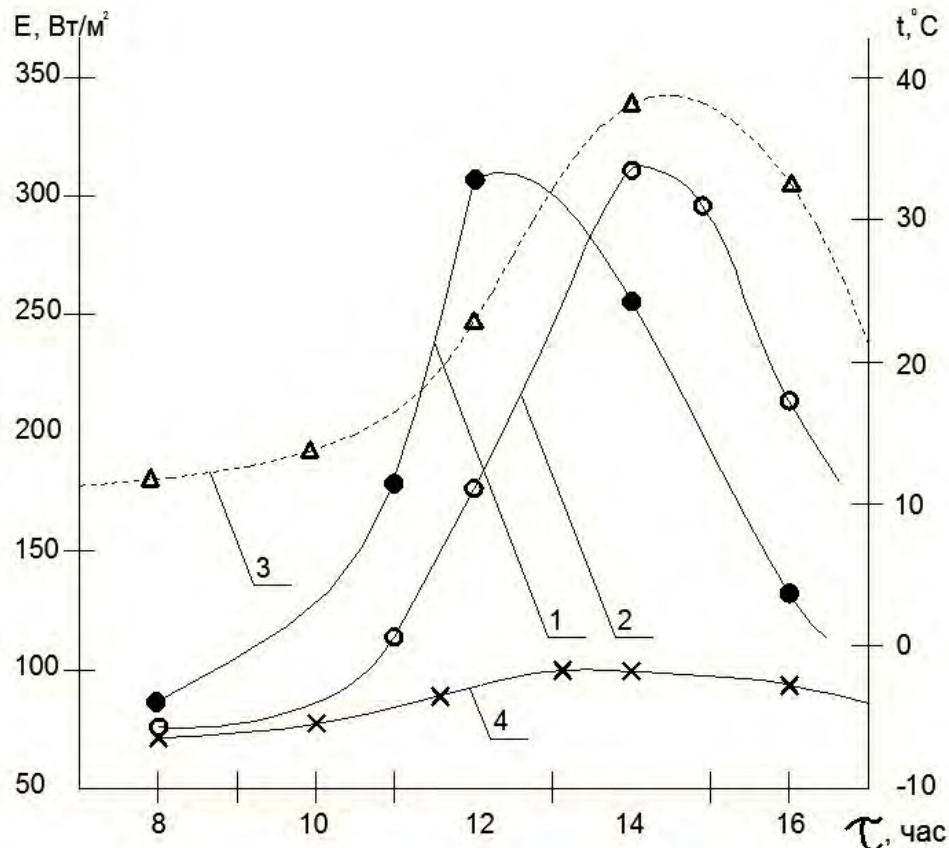


Рис. 3. Влияние интенсивности падающей солнечной радиации на температуру теплоносителя в гелиоконтуре: 1 – интенсивность солнечной радиации на скаты № 1 и 2; 2 – интенсивность солнечной радиации на скаты № 3–5; 3 – температура теплоносителя на выходе из гелиоконтуре в течение дня 15 января 2010 г.; 4 – температура окружающей среды.

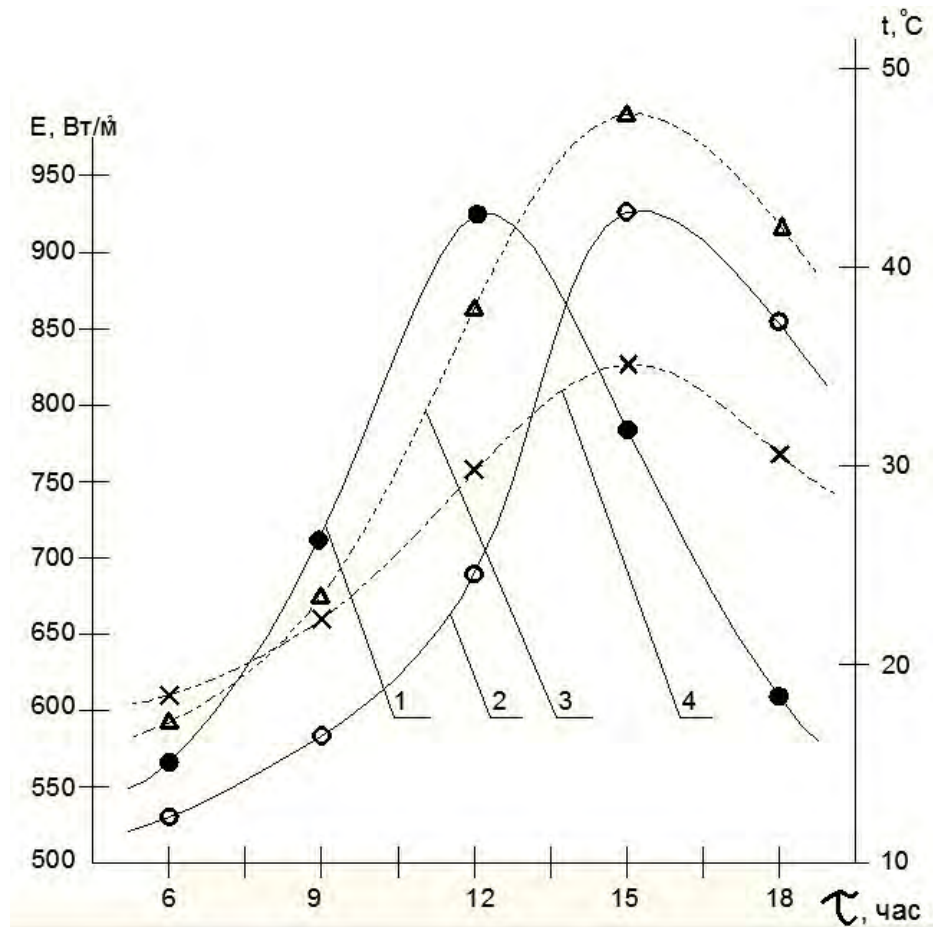


Рис. 4. Влияние интенсивности падающей солнечной радиации на температуру теплоносителя в гелиоконтуре: 1 – интенсивность солнечной радиации на скаты № 1 и 2; 2 – интенсивность солнечной радиации на скаты №3–5; 3 – температура теплоносителя на выходе из гелиоконтурі в течение дня 15 июля 2010 г.; 4 – температура окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Накорчевский А.И. Системы теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 67-73.
2. Juanico L. A new design of roofintegrated water solar collector for domestic heating and cooling // Solar Energy / – 2008. V. 82. – P. 481-492.
3. Трофименко А.В., Дмитренко А.А., Лапко Д.П., Назаренко М.А. Экспериментальные исследования рабочих режимов грунтового аккумулятора в системе теплоснабжения дома // Пром. теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 5. С. 59-61.
4. Трофименко А.В., Иконников С.В., Сичевий О.В. Комбінована система теплопостачання на базі теплового насосу з використанням сонячної енергії // Нетрад. Та відновлювані джере-

ла енергії в енергозабезпеченні регіону: Матеріали наук.- практ конф. / Регіон. Філіал Національного ін.-ту стратегічних досліджень в м. Дніпропетровську. За ред. проф. А.І. Шевцова. – Д. 2007. – С. 96-98.

5. Держстандарт. Технічні умови ТУ У 29.2-001: 2008. Геліопрофіль ТЕПС № 04725941/008577 від 22.01.2009.

6. Глава СНиП 11 – 34-76 «Горячее водоснабжение». – М.: Стройиздат, 1978 – С. 279-304.

7. Климатический атлас УССР / Под ред.. В.И. Гришко. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 316 с.

8. СНиП 2.04.05-91У Отопление, вентиляция и кондиционирование. – К., 1996. – 155 с.

Получено 08.02.2011 г.