

ческих процессов в задачах длительного сезонного аккумулирования теплоты в грунтовом массиве определены зависимости и характеристики единичных элементов системы грунтового аккумулятора. Установлено, что максимальный температурный перепад по длине канала составляет 1,8 К, а распределение температурного поля свидетельствует об эффективности применения теплообменников для отбора теплоты грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Viessmann*. Системы тепловых насосов. Инструкция по проектированию. (5829 122-2 GUS 2/2000).
2. *Накорчевский А.И.* Динамика разрядки теплового аккумулятора в неограниченном грунтовом массиве // ИФЖ. — 2005. — Т.78, №6. — С.70 — 77.
3. *Теплотехнический справочник*. Том 2. Издание 2-е, переработанное. — М: “Энергия”, 1976. — 896 с.
4. *Басок Б.І., Воробійов Л.Й., Михайлик В.А., Луніна А.О.* Теплофізичні властивості природного ґрунту // Пром. теплотехніка. — 2008. — Т. 30, № 4. — С. 77 — 85.
5. <http://www.hladonositeli.ru> — Основные характеристики 15, 33 и 39%-ных водных растворов полипропиленгликоля.
6. *ГОСТ 26996-86*. Полипропилен и сополимеры пропилена.

Получено 14.10.2008 г.

УДК 662.997

НАКОРЧЕВСКИЙ А.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОАВТОНОМНОГО ДОМА

Запропоновано раціональну схему енергетичного забезпечення опалення та гарячого водопостачання багатопверхового житлового будинку, що протягом року використовує енергію, яка сприймається сонячними колекторами, розташованими на цьому домі, та накопичується у ґрунтовому акумуляторі, що міститься під частиною будинку.

Представлена рациональная схема энергетического обеспечения отопления и горячего водоснабжения многоэтажного жилого дома на основе круглогодичного использования энергии, воспринимаемой солнечными коллекторами, расположенными на данном доме, и сезонного грунтового аккумулятора, размещенного под частью здания.

We present a rational scheme of the energy ensuring of heating and hot water supply of a high-rise dwelling house, which, for a year, uses the energy perceived by solar collectors located on this house, and a seasonal soil accumulator, placed under a part of the building.

e — удельная воспринимаемая теплота;
 q — плотность теплового потока;
 N — мощность;
 T — температура;
 t — время;
 S — площадь;
 V — объем;
 β, η — коэффициенты;
 τ — интервал времени;
 Θ — эффективность.

Индексы:
 a — аккумулятор;
 v — вода;
 vz — воздух;
 g — горячий;
 k — конец;
 $мес$ — месяц;
 n — начало;
 $ос$ — основной;
 $от$ — отопление;

п – потребляемый;
 р – разрядка;
 с – солнце;
 с.к – солнечный коллектор;

ср – средний;
 т – теплота;
 т.н – тепловой насос.

В связи с прогрессирующим удорожанием газа и нефтепродуктов возникает настоятельная необходимость перехода к нетрадиционным и безотходным источникам энергии. Требование безотходности становится с каждым годом все более актуальным, поскольку мировой энергетический кризис сопровождается необратимым ухудшением экологической обстановки. Поэтому упование на усовершенствованные технологии использования (вместо газа) каменного угля и органики различного происхождения (бурый уголь, древесные опилки, биогаз и т.д.), производящих при их добыче и сжигании побочные продукты, окажется в конечном итоге несостоятельным. Почему-то в Украине не обращают должного внимания на наличие повсеместно доступного энергетического источника, отвечающего самым строгим экологическим требованиям, – солнечной инсоляции.

В работах [1, 2 и др.] предлагается использовать солнечную энергию для теплоснабжения многоэтажного дома. На крыше и поэтажных козырьках (или стеновых панелях) размещаются солнечные коллекторы (см. рис. 1). Избыточная теплота летней инсоляции аккумулируется в грунте под зданием. В отопительный сезон эта теплота извлекается и посредством тепловых насосов используется для теплоснабжения дома. Тепловые насосы потребляют электроэнергию порядка 15% годовой теплотребности дома (на отопление и горячее водоснабжение), что приводит к семикратной экономии энергии. Дом самодостаточен с точки зрения размещения необходимого оборудования. Он теплоавтономен, поскольку исключаются внешние тепловые сети и соответствующее коммунальное оборудование.

В настоящей работе представлен более детальный расчет внутренней системы теплоснабжения такого дома. В связи с тем, что интенсивность тепловосприятия солнечного излучения в северном полушарии Земли падает с увеличением широты местности, ориентируемся на наихудший вариант – северные районы Украины (г. Киев). Расчет выполнен для 5-этажного 3-секционного жилого дома с размерами в плане $A \times B = 90 \times 15$ м при числе жителей 225 чел. Согласно [3], расход на отопление (180 суток) составляет $0,463$ ГДж/(м²·год), что дает отопительную мощность $N_{от} = 201,1$ кВт. Согласно [4], норма горячего водоснабжения –

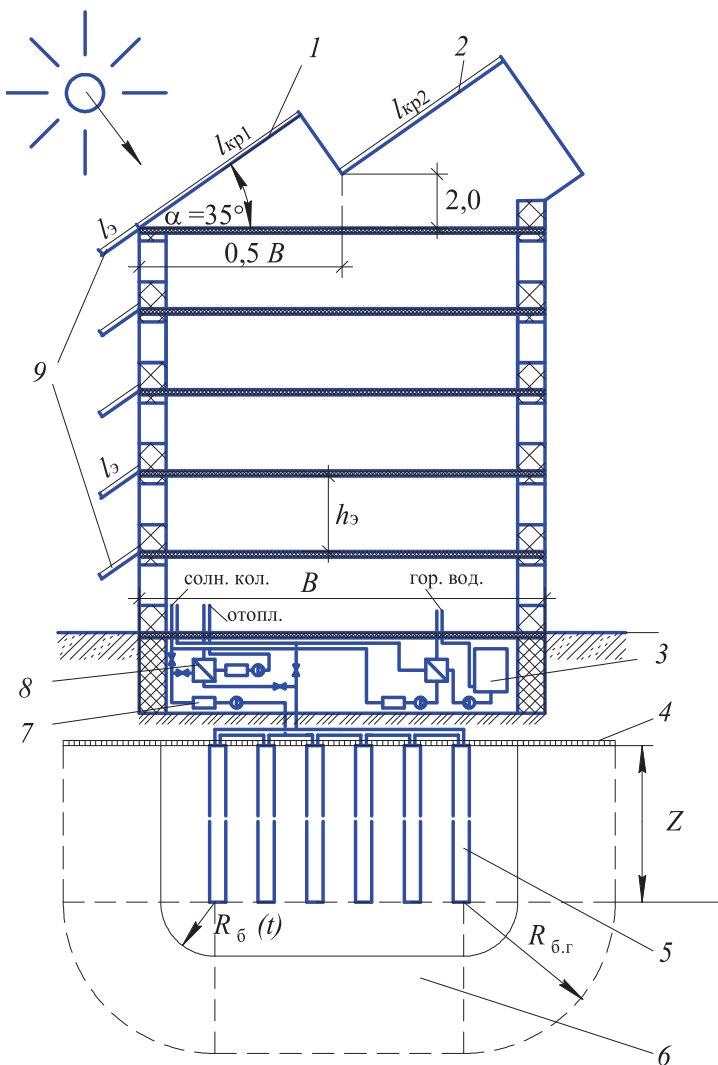


Рис. 1. Чертеж жилого дома (вертикальный разрез):
 1, 2, 9 – солнечные коллекторы, 3 – емкость системы горячего водоснабжения,
 4 – теплоизоляционный щит, 5 – грунтовые теплообменники, 6 – грунтовый аккумулятор,
 7 – емкость гидравлического насоса,
 8 – тепловой насос.

Табл. 1. Падающая радиация, длительность инсоляции и средняя температура воздуха в течение светового дня по данным работ [5 – 7]

Месяц	Падающ. радиация за месяц, 10^6 Дж/м ²	Падающ. радиация за день, 10^6 Дж/м ²	Длительн. инсоляции, ч	Дневной интервал инсоляции, час	Средняя температ. воздуха, °С	Средняя плотность радиации, Вт/м ²	Макс. плотность радиации, Вт/м ²
I	132,200	4,265	8	9–17	-5,6	148,09	232,62
II	202,750	7,241	10	8–18	-4,3	201,14	315,95
III	360,720	11,636	11	7–18	0,7	293,84	461,56
IV	444,776	14,826	13	6–19	8,9	316,79	497,62
V	579,107	18,681	15	5–20	16,3	345,94	543,41
VI	638,438	21,281	15	5–20	19,7	394,09	619,04
VII	626,699	20,216	15	5–20	21,7	374,37	588,06
VIII	562,529	18,146	14	6–19	20,4	360,04	565,55
IX	447,556	14,918	13	6–19	15,9	318,76	500,71
X	307,055	9,905	11	7–18	9,0	250,13	392,90
XI	117,328	3,911	9	8–17	1,9	120,71	189,61
XII	96,635	3,117	7	9–16	-3,0	123,69	194,29

105 л/(чел·сут), которой соответствует $N_{\text{гв}} = 54,7$ кВт. Сведения о помесечной и дневной падающей радиации на наклонную под углом 35° к горизонту поверхности южной ориентации, длительности светового дня, средней температуре воздуха в течение светового дня определены по данным [5–7], представлены в табл. 1. Если просуммировать падающие радиации за теплый период (апрель – сентябрь) и сопоставить их с такими же подсчетами за холодный период, то окажется, что последние составляют 37 % от первых. Поэтому было бы расточительным не использовать теплоту зимней солнечной активности. В этой связи представляется целесообразным организовать круглогодичное горячее водоснабжение непосредственно от солнечных коллекторов, повышая температуру воды в тепловом насосе до требуемой, например $T_{\text{гв}} = 55$ °С, что обеспечит температуру воды у потребителя порядка 50 °С. Тогда принципиальная схема теплоснабжения дома должна быть следующей (см. рис. 2). Она разделяется на три подсистемы: а) Грунтового аккумулирования, включающего элементы оборудования 1, 3, 14, 12. б) Разрядки аккумулятора с элементами 1, 14, 11, 12, обеспечивающая теплоснабжение отопления. в) Теплоснабжения горячего водоснабжения 3, 4, 5, 15. Переход от ак-

кумуляции к разрядке и наоборот осуществляется манипулированием регулирующими вентилями 2 и 13. Эти подсистемы должны обеспечить функционирование системы отопления 9, 10, 11, 8 и системы горячего водоснабжения 7, 16, 15, 6.

Для количественного анализа необходимо знать тепловоспринимающую способность солнечных коллекторов $\eta_{\text{с.к}}$ [8] и мощность, потребляемую тепловыми насосами $N_{\text{т.н}}$ [9], которые можно определить по формулам:

$$\eta_{\text{с.к}} = 0,826 - 3,68 \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{вз}}}{q_{\text{с}}} - 0,011 \frac{(T_{\text{в}} - T_{\text{вз}})^2}{q_{\text{с}}}, \quad (1)$$

$$N_{\text{т.н,п}} = \beta N_{\text{п}}, \quad \beta = 1,852 \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{п}} + 273} \quad (\text{п} = \text{от, г.в}). \quad (2)$$

Здесь $q_{\text{с}}$ – плотность падающей радиации. Вторая зависимость используется в расчетах как для системы отопления (п = от), так и для горячего водоснабжения (п = г.в). Для максимального извлечения воспринятой солнечным коллектором теплоты необходимо стремиться к тому, чтобы температура промежуточного теплоносителя $T_{\text{в}}$ была равна температуре окружающего воздуха $T_{\text{вз}}$.

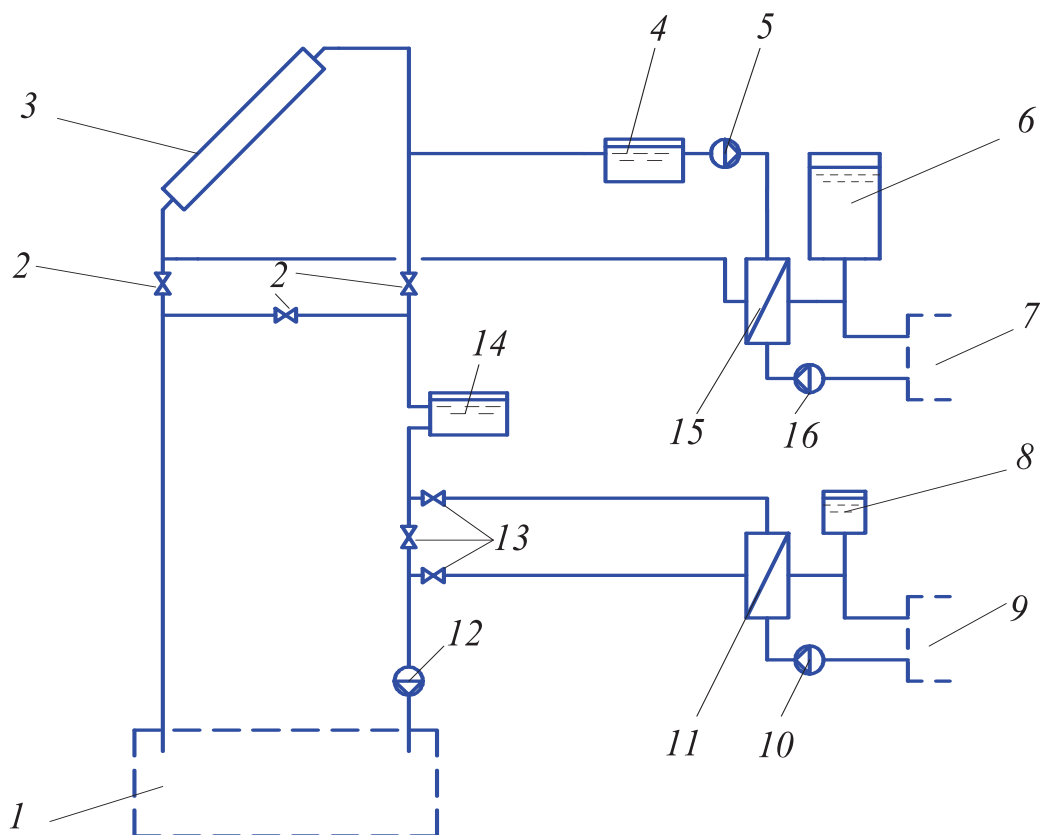


Рис. 2. Схема теплоснабжения жилого дома:

1 – грунтовой аккумулятор, 2 – регулирующие вентили, 3 – солнечные коллекторы, 4 – емкость теплосистемы горячего водоснабжения, 5 – насос теплосистемы горячего водоснабжения, 6 – емкость системы горячего водоснабжения, 7 – система горячего водоснабжения, 8 – емкость системы отопления, 9 – система отопления, 10 – насос системы отопления, 11 – тепловой насос системы отопления, 12 – насос системы аккумуляирования-разрядки, 13 – регулирующие вентили, 14 – емкость системы аккумуляирования-разрядки, 15 – тепловой насос системы горячего водоснабжения, 16 – насос системы горячего водоснабжения.

Тогда минимизируются потери энергии в солнечном коллекторе, и его КПД определяется оптической проницаемостью защитного стекла ($\eta_{с.к} = 0,826$). Такой режим легко осуществим для систем прямого горячего водоснабжения. Результаты расчета по определению требуемой поверхности солнечных коллекторов и доли энергии β , подводимой к тепловым насосам горячего водоснабжения при обеспечении на выходе из них воды с $T_{гв} = 55\text{ }^\circ\text{C}$, даны в табл. 2. Как и следовало ожидать, наиболее неблагоприятным оказался декабрь, когда необходимо задействовать $S_{с.к,гв} = 1837\text{ м}^2$ солнечных коллекторов. Среднегодовое значение β оказалось равным 0,263, что дает среднегодовую мощность, подводимую к тепловым насосам горя-

чего водоснабжения, $N_{тн,гв} = 14,7\text{ кВт}$, что почти в четыре раза меньше требуемой энергии на эти цели.

В отличие от отопления, горячее водопотребление весьма неравномерно в течение суток, о чем свидетельствует типичный график для благоустроенного жилого дома, представленный на рис. 3 [10]. Согласно принятой схеме горячего водоснабжения, нагрев воды жестко связан с работой солнечных коллекторов. Минимальная длительность инсоляции приходится на декабрь. Распределение интенсивности прямой радиации во времени [5] удовлетворительно описывается синусоидой:

$$q_c = q_{с,макс} \sin\left(\pi \frac{t - t_H}{t_k - t_H}\right), \quad (3)$$

Табл. 2. Площадь солнечных коллекторов $S_{с.к.г.в.}$ и коэффициент β при $T_{г.в.} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Месяц	Падающая радиация за месяц, 10^6 Дж/м^2	Площадь солнечных коллекторов, м^2	Коэффициент β
I	132,200	1342,5	0,342
II	202,750	790,7	0,335
III	360,720	492,1	0,307
IV	444,776	386,2	0,260
V	579,107	306,5	0,219
VI	638,438	269,0	0,199
VII	626,699	283,2	0,188
VIII	562,529	315,5	0,195
IX	447,556	383,8	0,221
X	307,055	578,1	0,260
XI	117,328	1464,0	0,300
XII	96,635	1837,0	0,327

где $t_{н, тк}$ – соответственно начало и конец светового дня. Тепловосприятие определяется умножением q_c на КПД солнечного коллектора. Результат совместной подачи горячей воды и ее потребления иллюстрируется суточным интегральным графиком, построенным для декабря (рис. 4). Регулирующая емкость определяется максимальной разностью между интегральной подачей и интегральным водопотреблением. По данным рис. 4 эта разность приходится на 16 час суток и соответствует 43 % суточного расхода горячей воды. Таким образом, объем регулирующей емкости горячей воды должен быть

$$V_{г.в.} = 0,43 \cdot 0,105 \cdot 225 = 10,2 \text{ м}^3.$$

Обычно его распределяют между двумя-тремя танками.

Как уже отмечалось, организация отопления подразделяется на два подцикла – сначала грунтовое аккумулирование теплоты в течение 6 теплых месяцев (апрель – сентябрь), а затем извлечение ее в отопительный сезон с повышением до требуемой температуры тепловыми насосами. Несомненно, что с санитарно-гигиенической точки зрения необходимо ориентироваться на отопление по системе “теплый пол” с температурой теплоносителя в пределах 25 ... 35 $^\circ\text{C}$. Для обеспечения конечной температуры теплоносителя порядка 30 $^\circ\text{C}$ достаточно на выходе из теплового насоса иметь $T_{от} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рассмотрим первый подцикл – грунтовое аккумулирование теплоты. Исходная температура грунтового массива T_M порядка 10 $^\circ\text{C}$. Конечная температура основной области аккумулирования T_{oc} вполне может быть ограничена 40 $^\circ\text{C}$. Как показали многочисленные расчеты процессов аккумулирования и извлечения теплоты [2], температурный напор ($T_B - T_{oc}$) обычно около $\pm 7 \text{ }^\circ\text{C}$ (+ – при аккумулировании, – – при разрядке) и ха-

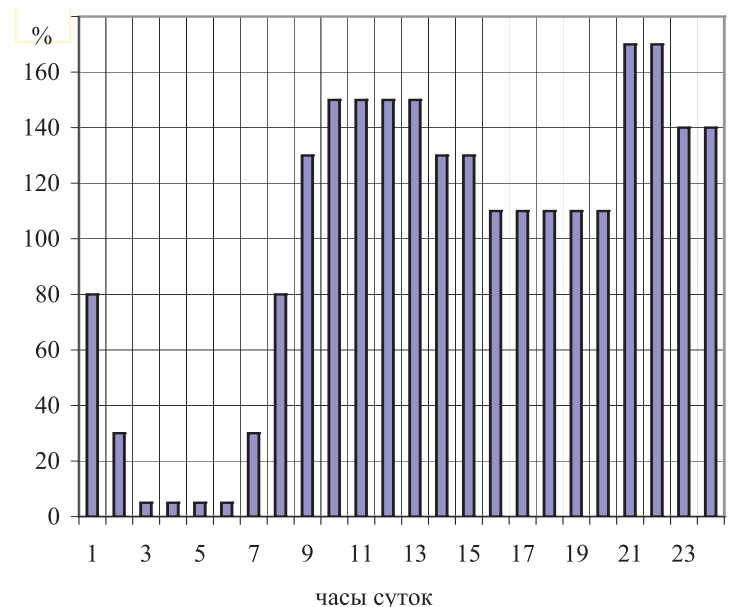


Рис. 3. График суточного потребления горячей воды (в процентах от среднечасового расхода).

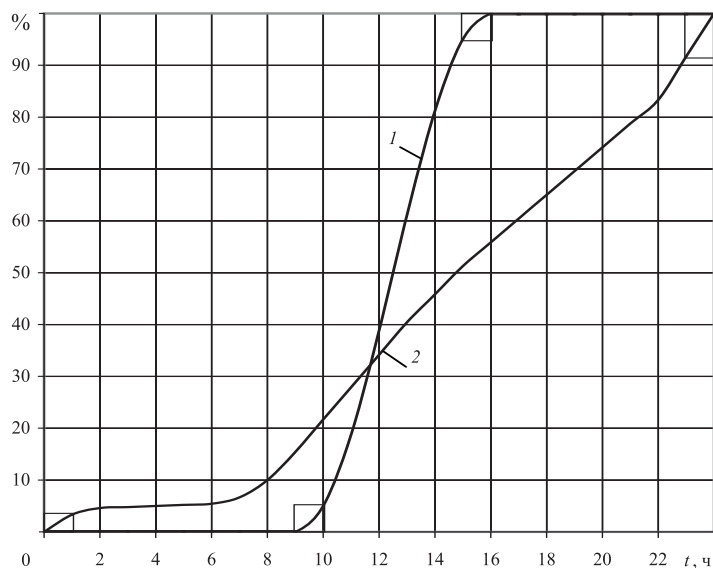


Рис. 4. Интегральный график подачи (кривая 1) и потребления (кривая 2) горячей воды для декабря (в процентах от среднесуточного расхода).

рактически изменение $T_{oc(t)}$ близко к линейному. Тогда легко могут быть вычислены среднемесячные значения T_B :

$$T_{oc}(t_{ср.мес}) = T_{oc}(0) + \frac{T_{oc}(\tau_a) - T_{oc}(0)}{\tau_a} t_{ср.мес}, \quad (4)$$

$$T_B(t_{ср.мес}) = T_{oc}(t_{ср.мес}) + 7$$

и соответствующие среднемесячные КПД солнечных коллекторов по (1). Здесь τ_a — длительность аккумуляции. Результаты расчетов представлены в табл. 3. Итак, воспринятая теплота за сезон аккумуляции составит $e_{с.к,а} = 2,20 \cdot 10^9$ Дж/м². Тогда требуемая площадь солнечных коллекторов для обеспечения отопления будет

$$S_{с.к,от} = \frac{N_{от} \tau_{от}}{e_{с.к,а}} = 1422 \text{ м}^2. \quad (5)$$

Определяющей величиной $S_{с.к,гв}$ для осуществления горячего водоснабжения в летний период будет наибольшее ее значение, которое приходится на апрель (см. табл. 2), и требуемая площадь солнечных коллекторов для работы в летний период составит

$$S_{с.к,т} = 1422 + 386 = 1808 \text{ м}^2.$$

Поскольку для зимнего периода $S_{с.к,гв} = 1837 \text{ м}^2$ оказалась больше подсчитанной выше, то именно это значение площади солнечных коллекторов и следует принять в качестве необходимого. Таким образом, в течение всего года, за исключением декабря, площадь установленных коллекторов $S_{с.к}$ будет несколько больше необходимой, что позволит осуществлять как ремонтные работы, так и иметь некоторый оперативный резерв. Отношение $S_{с.к}$ к жилой площади-брутто ($5 \times 90 \times 15 \text{ м}^2$) составит 0,27.

При извлечении теплоты из грунтового аккумулятора температура промежуточного теплоносителя T_B будет меньше температуры основной области аккумуляции T_{oc} на 7 °С, и характер ее изменения во времени будет следующим:

$$T_B = 33 - \frac{30}{\tau_p} t, \quad (6)$$

где τ_p — длительность разрядки аккумулятора (180 сут = $1,555 \cdot 10^7$ с). Подставив эту зависимость в (2) и осуществив интегрирование по времени, устанавливаем среднюю мощность потребляемой

Табл. 3. Среднемесячные КПД солнечных коллекторов $\tau_{с.к}$.

Месяц	Воспринятая радиация за месяц, 10^6 Дж/м ²	Коэффиц. $\eta_{с.к}$
IV	310,9	0,699
V	426,8	0,734
VI	467,3	0,732
VII	435,6	0,695
VIII	348,8	0,620
IX	209,5	0,468

тепловым насосом энергии для обеспечения необходимой температуры отопления по системе “теплый пол” $T_{от} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$N_{т.н.,от} = \frac{\int_0^{\tau_p} 1,852 \frac{T_{от} - T_{в}}{T_{от} + 273} dt}{\tau_p} N_{от} = 0,102 N_{от}. \quad (7)$$

Таким образом, расход энергии на отопление оказался почти в 10 раз меньше необходимого. Общая энергетическая эффективность отопления и горячего водоснабжения теплоавтономного дома будет:

$$\Theta = \frac{0,102 N_{от} + 2 \cdot 0,263 N_{г.в.}}{N_{от} + 2 \cdot N_{г.в.}} = 0,158, \quad (8)$$

что предопределяет шестикратное уменьшение потребляемой энергии.

Вывод

Предложенная схема теплоснабжения теплоавтономного жилого дома позволяет задействовать солнечные коллекторы и в холодную пору года и семикратно снизить расход энергии на отопление и горячее водоснабжение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Накорчевский А.И.* Теплоавтономный дом как альтернатива коммунальной теплоэнергети-

ке Украины // Энергосбережение. – 2007. – № 4. – С. 2–6.

2. *Накорчевский А.И.* Теоретические и практические аспекты грунтового аккумулирования и извлечения теплоты. – К.: Наук. думка, 2008. – 150 с.

3. *Посібник до Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні.* – КТМ 204 Україна 244-94. – Київ, 2004. – 44 с.

4. *Глава СНиП II – 34 –76 “Горячее водоснабжение”.* – М.: Стройиздат, 1978 – С. 279–304.

5. *Справочник по климату СССР.* Вып. 10. УССР. ч. I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 124 с.

6. *Справочник по климату СССР.* Вып. 10, Ч. II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 608 с.

7. *Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П.* Радиационный режим наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 216 с.

8. *Системы тепловых насосов.* Инструкция по проектированию. Viessmann. 2000. – 48 с.

9. *Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г.* Холодильные машины и аппараты. – М.: Изд. торг. лит., 1960. – 656 с.

10. *Хлудов А.В.* Горячее водоснабжение. – М.: Госстройиздат, 1957. – 464 с.

Получено 21.10.2008 г.