

УДК 662.997

В.В. Макаров, доцент, канд. техн. наук**Е.К. Горалевич, магистрант****О.И. Горбатов, аспирант***Севастопольский национальный технический университет**Университетская 33, г. Севастополь, 99053, Украина**E-mail: peotsevntu@gmail.com***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ СЕЗОННОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Рассматриваются сезонные гелиоустановки горячего водоснабжения, их коэффициент полезного действия при изменяющихся внешних параметрах: климатических условиях и конструктивных решениях.

Ключевые слова: гелиоустановки, коэффициент полезного действия, процент замещаемого топлива, снижение валовых выбросов загрязняющих вредных веществ.

Современная доктрина устойчивого развития современной энергетики Украины включает снижение темпов потребления не возобновляемых первичных ресурсов – угля, нефтепродуктов, природного газа и ядерной энергетики, а к одному из направлений в ее реализации относится этот ресурс, возобновляемые источники энергии, что будет также благоприятствовать снижению нагрузки на окружающую среду. Основным возобновляемым источником энергии есть энергия Солнца, которая может использоваться для преобразования как в электрическую, так и в тепловую энергию.

В статье рассматривается для летних условий, при горячем водоснабжении, замещение первичных энергоносителей солнечной энергии с преобразованием ее в тепловую в солнечных коллекторах (СК). Сезонное горячее водоснабжение используется для оздоровительных баз отдыха школьников, студентов, летних пансионатов и т.п. По нашим оценкам для обеспечения сезонного горячего водоснабжения (апрель – сентябрь) традиционным способом требуется не менее 1 млн. тонн условного топлива.

В практике использование солнечной энергии для преобразования в тепловую, нашли широкое применение плоские СК и в последние годы вакуумно-трубчатые СК из которых формируются гелиоустановки.

Для сезонного горячего водоснабжения наиболее широко нашли применение структурные схемы (см. рисунок 1).

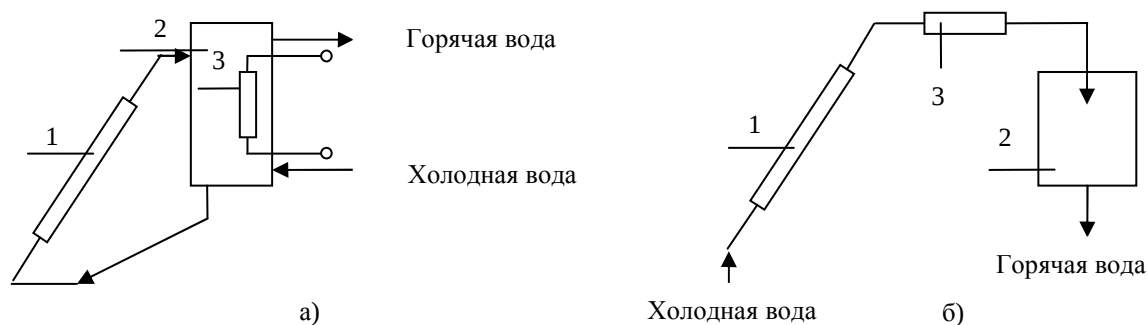


Рисунок 1 – Структурные схемы одноконтурных установок солнечного горячего водоснабжения: а) – с естественной циркуляцией; б) – с принудительной циркуляцией; (1 – СК; 2 – бак-аккумулятор; 3 – дублир нагрева воды).

Пространственное размещение СК применяют с учетом типа застройки, ландшафтных и климатических условий. Из-за ограниченности площадей, как правило, их размещают на кровле здания, на соответствующих опорах. В соответствии с ВСН 52-86 [1] расстояние от кровли до низа СК должно обеспечивать возможность ремонта кровли. Оптимальная ориентация СК должна быть на юг с возможным отклонением на восток до 20° на запад – до 30°. Угол их наклона к горизонту для установок, работающих в летний период, должен быть равным широте местности минус 15°. Расчет опорных конструкций под СК ведется с учетом ветровой и снеговой нагрузок. Для сейсмических зон опорные конструкции должны учитывать сейсмические воздействия.

Пример пространственного размещения коллекторов на плоской кровле представлен на рисунке 2.

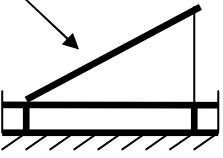
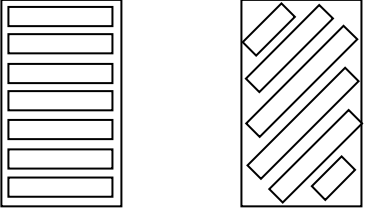
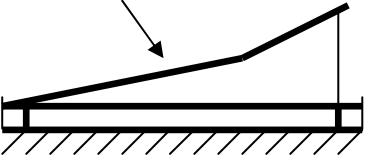
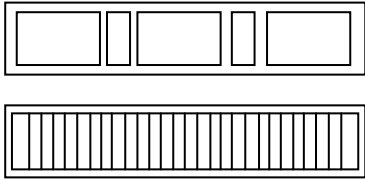
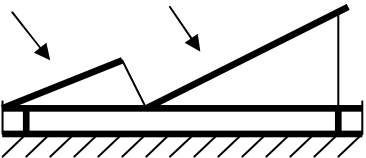
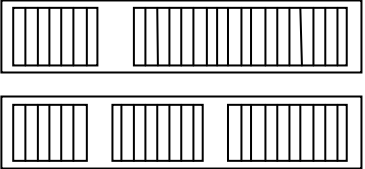
ВИД СБОКУ	ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ РАСКЛАДКИ СК
А 	
Б 	
В 	

Рисунок 2 – Схемы размещения солнечных коллекторов на плоской кровле зданий:
А – «ковровое» размещение; Б – приподнимающаяся плоскость; В – каскадное решение

Для этих установок суммарное количество теплоты Q , ГДж, выработанной установкой в течение сезона, определяется по формуле:

$$Q = A \eta_k \sum_{z,n,i} g_i, \quad (1)$$

где A – поверхность гелиополя, рассчитанное при средненедневном уровне радиации расчетного месяца, м^2 ; I_i – средненедневной уровень радиации в расчетном месяце; n – число дней в месяце; z – расчетное количество месяцев работы гелиоустановки в течение сезона.

Среднемесячный коэффициент полезного действия (КПД) гелиоустановки в расчетном месяце, определяется уравнением:

$$\eta_k = F \left\{ \frac{(\alpha\beta) - \sum_{\tau}^n U_L [0,5(t_2 - t_1) - t_0]}{I_i} \right\}, \quad (2)$$

где F – конструктивная эффективность гелиоколлектора; α – коэффициент поглощения абсорбера солнечного спектра; β – коэффициент, учитывающий оптические свойства прозрачной изоляции; τ – количество часов одного светового дня расчетного месяца; n – общее количество дней расчетного месяца; U_L – средненедневные тепловые потери гелиоколлектора в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; t_1 – температура воды на входе в коллектор, $^{\circ}\text{C}$; t_2 – температура воды на выходе из коллектора, $^{\circ}\text{C}$; t_0 – средненедневная температура воздуха расчетного месяца, $^{\circ}\text{C}$; i – месяц года; I – среднемесячный уровень солнечной радиации, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, который определяется по уравнению:

$$I_i = (H_{B_i} \cdot P_S + H_{D_i} \cdot P_D) \cdot n, \quad (3)$$

где H_B , H_D – удельный тепловой поток прямого и рассеянного солнечного излучения соответственно, падающего на 1 м^2 горизонтальной поверхности в течение дня при безоблачном небе, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$; P_S , P_D – коэффициенты положения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации соответственно, определяются в соответствии с [1]; n – число дней расчетного месяца.

В соответствии с уравнением (1) существенную роль в количестве вырабатываемой теплоты играет среднемесячное КПД.

Выполним анализ изменения КПД (уравнение 2) солнечного плоского и вакуумно-трубчатого коллектора в составе солнечной установки с дублирующим источником энергии по месяцам сезонного действия (апрель – сентябрь) для климатических условий города Севастополя (см. таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1 – Часовые и дневные суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$)(H_B)

Месяц	Часы														Сумма за день
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
IV		36	105	185	266	338	360	371	324	266	197	105	36		2589
V	22	58	138	221	313	371	407	407	371	324	244	152	69		3119
VI	36	105	208	324	396	465	509	509	476	418	324	197	105	22	4108
VII	47	116	232	360	476	545	591	591	545	451	338	244	116	36	4688
VIII	22	94	185	290	418	487	534	509	476	407	290	174	69	36	3977
IX		47	127	221	313	396	429	418	360	279	185	105	11	22	2891

Таблица 2 – Часовые и дневные суммы рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность ($\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$)(H_D)

Месяц	Часы														Сумма за день
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
IV	11	58	116	163	208	221	232	232	221	185	152	116	58	11	1984
V	22	80	127	185	221	255	266	255	255	221	185	152	94	36	2354
VI	47	105	152	185	208	232	232	232	221	208	174	152	116	61	2325
VII	47	105	138	163	185	208	208	208	199	185	163	138	94	58	2099
VIII	22	69	116	152	174	185	185	199	185	174	152	116	69	22	1820
IX	11	47	94	127	163	174	185	199	185	163	138	94	47	11	1638

Таблица 3 – Средняя расчетная температур воздуха по месяцам

Часы	Месяцы					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
8	10,8	16,4	21,4	25,0	25,0	19,9
9	11,4	16,9	21,8	25,5	25,7	21,5
10	11,7	17,3	22,1	25,9	26,1	22,0
11	12,0	17,5	22,3	26,1	26,2	22,2
12	12,1	17,6	22,5	26,1	26,2	22,2
13	12,2	17,6	22,5	26,1	26,3	22,3
14	12,2	17,7	22,5	26,1	26,2	22,2
15	12,2	17,7	22,5	26,2	26,1	22,1
16	12,0	17,6	22,5	26,1	26,0	21,7
17	11,6	17,3	22,2	25,8	25,6	21,1
Средняя с 8 до 17	11,3	16,9	21,8	25,3	25,1	20,7

При этом в расчетах будем принимать, что СК направлены на юг, угол наклона солнечного коллектора к горизонту будет меняться, а именно 30° , 45° , 60° и сравнивать КПД с коллектором, лежащим на поверхности кровли горизонтально. Отметим, что для ориентации солнечных коллекторов в пространстве в составе гелиоустановки требуются опорные конструкции, которые составляют 10 – 15 % от общей суммы затрат ее строительства. Примем средние технические параметры плоского и вакуумно-трубчатого СК: плоского ($F=0,95$; $\alpha=0,9$; $\beta=0,86$; $U_L=4,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$) и вакуумно-трубчатого ($F=0,95$; $\alpha=0,9$; $\beta=0,86$; $U_L=2,0 \text{ Вт}/\text{м}^2$).

Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует норматив на температуру горячей воды от солнечной системы горячего водоснабжения. Поэтому при выборе этой температуры ссылаются на СНиП 2.04.01-85, согласно которому она должна составлять в баке-аккумуляторе $55 - 60^\circ\text{C}$.

Расчетные изменения КПД гелиоустановки сезонного действия по месяцам представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что образуется обратно пропорциональная зависимость КПД СК от угла наклона коллектора к горизонту. Если увеличивать угол наклона коллектора к горизонту, то КПД СК будет уменьшаться. Отсюда можно сделать вывод, что для климатических условий Севастополя наиболее эффективными являются солнечные коллектора лежащие горизонтально. Таким образом,

опорные конструкции (см. рисунок 3) не следует строить и капитальные затраты при строительстве сезонных гелиоустановок можно сократить в пределах 10–15 %.

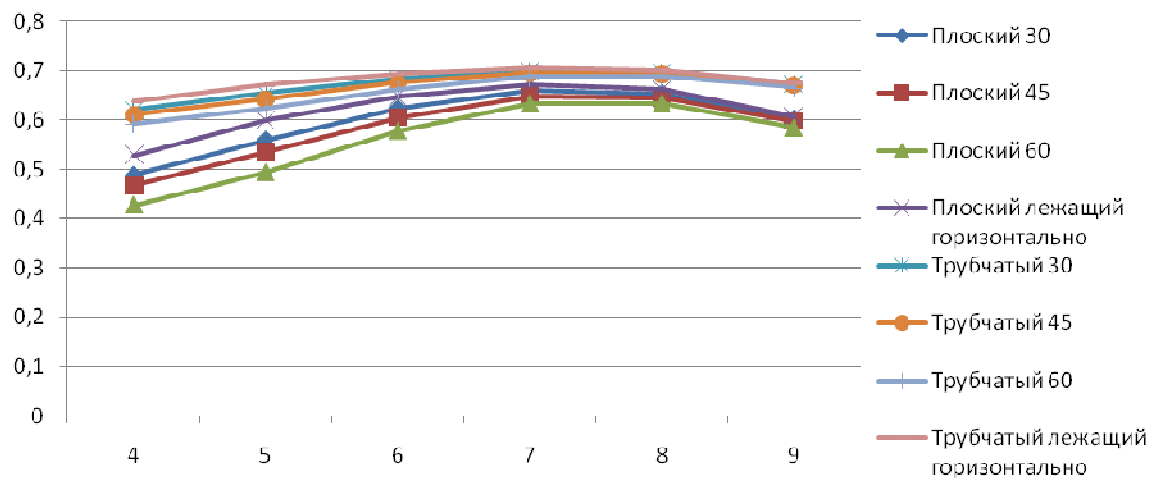


Рисунок 3 – График изменения КПД плоского и вакуумно-трубчатого солнечного коллектора по месяцам с различным углом наклона коллектора к горизонту

Определим для каждого месяца расчетные количества нагреваемой воды в сутки при работе 1 м² гелиополя, в рассматриваемых вариантах СК. При этом принимается, что $t_k = \text{const}$, т.е. $t_k = 55^\circ\text{C}$. Из условия, что площадь гелиополя определяется по формуле:

$$A = \frac{1,16 \cdot G(t_k - t_H)}{\eta_k \sum_{i=1}^{\tau} I_i}, \quad (4)$$

где G – количество нагреваемой воды до температуры в бак-аккумуляторе 55°C :

$$G = \frac{\eta_k \sum_{i=1}^{\tau} I_i}{1,16(t_k - t_H)}, \quad \text{кг/сут} \quad (5)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Количество нагреваемой воды (кг/сут) для плоского и трубчатого вакуумированного солнечного коллектора по месяцам (максимальная температура в бак-аккумуляторе 55°C)

Месяц	Среднее количество нагреваемой воды при использовании плоского СК				Среднее количество нагреваемой воды при использовании вакуумно-трубчатого СК			
	Угол наклона СК 30°	Угол наклона СК 45°	Угол наклона СК 60°	СК, лежащий в горизонтальной плоскости	Угол наклона СК 30°	Угол наклона СК 45°	Угол наклона СК 60°	СК, лежащий в горизонтальной плоскости
Апрель	46,0	40,6	32,3	59,5	58,4	53,0	44,8	72,0
Май	58,1	48,9	37,3	80,8	67,9	58,6	47,1	90,6
Июнь	77,8	65,1	50,9	102,7	85,2	72,5	58,3	110,1
Июль	92,0	79,6	65,5	112,3	97,6	85,2	71,1	118,0
Август	83,2	75,5	64,9	94,5	88,9	81,1	70,5	100,1
Сентябрь	64,9	62,7	55,4	67,7	72,5	70,4	63,0	75,4

Из таблицы 4 видно, что наблюдается такая же зависимость, что при расчете КПД СК. Чем меньше угол наклона коллектора к горизонту, тем больше количество нагреваемой воды в бак-аккумуляторе до температуры равной 55°C .

Определим расчетный процент замещаемого топлива по месяцам при наличии дублирующего источника энергии. При этом расчетным месяцем поверхности гелиополя по г. Севастополю принимается июль [1]. То есть принималось допущение, что в июле месяце дублирующий источник энергии не

включен. Таким образом, в июле солнечная энергия 100 % замещала сжигание углеводородного топлива. Энергетический эквивалент для 1 м² гелиополя в течение июля составит:

$$Q_{\text{июль}} = \eta_{\text{июль}} \cdot \sum_{i=1}^n I_{\text{июль}}, \quad (6)$$

Процент замещаемого топлива для других месяцев:

$$f_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{июль}}} = \frac{\eta_k \sum I_i}{I_{\text{июль}} \sum_{i=1}^n I_{\text{июль}}} \cdot 100. \quad (7)$$

Расчетные значения процента замещаемого топлива по месяцам (апрель – сентябрь) при различных углах наклона гелиополя (плоскости СК) к горизонту представлены на рисунках 4.

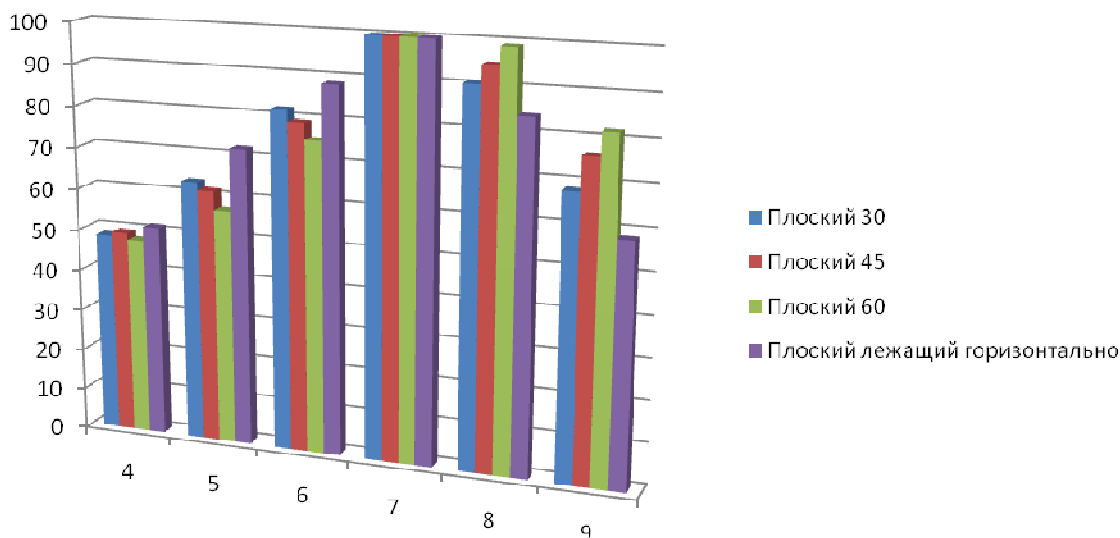


Рисунок 4 – Гистограмма замещаемого топлива (%) по месяцам с различными углами наклона коллекторов к горизонту для плоского солнечного коллектора при наличии дублирующего источника

Из рисунка 4 видно, что с изменением угла наклона коллектора к горизонту процент замещения традиционного источника энергии солнечной энергией для обеспечения горячего водоснабжения, меняется. В период с апреля по июнь процент замещения топлива выше у коллектора лежащего горизонтально, но в период с августа по сентябрь – у коллектора лежащего под углом 60° к горизонту. Сезонный процент замещение углеводородного топлива солнечной энергией для плоских СК составляет 0,73.

Как было сказано выше в летних базах отдыха, которые работают с апреля по октябрь, сжигается не менее 1 млн. т условного топлива. Условное топливо это такое топливо при сжигании которого выделяется $Q_y^H = 29,3$ МДж/кг. При производстве горячей воды традиционным способом обычно используют котельные, работающие на твердом (уголь), на жидком (мазуте), на газообразном (природный газ) топливах, а в ряде случаев используют электронагреватели. В нашем примере каждую котельную рассматривается как дублирующий источник, который в свою очередь имеет свой КПД. В соответствии с [3]: для котла, работающего на жидком топливе $\eta_{жс} = 0,82$; для газового котла $\eta_e = 0,95$; для котла, работающего на угле $\eta_y = 0,65$.

Для электронагревателя принимаем, что количество электрической энергии производилось на ТЭС при использовании природного газа. В этом случае

$$\eta = \eta_{\text{тэс}} \cdot \eta_n, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{тэс}} = 300$; $\eta_n = \eta_{\text{лэн}} \cdot \eta'_0 = 0,95 \cdot 0,98 = 0,931$; $\eta_0 = 0,300 \cdot 0,931 = 0,279$.

Тогда, количество замещаемого топлива G_3 для рассматриваемых дублирующих источников можно определить

$$G_3 = 3,6 \cdot 10^{-3} \sum_{j,n} \eta_k^j \cdot I_i / (\eta_{\text{д.и.}} \cdot Q_y^H), \text{ кг/год} \quad (9)$$

где n – числа дней в расчетном месяце; j – число месяцев в рассматриваемом сезоне; $\eta_{д.и.}$ – КПД дублирующего источника энергии; Q_y^H – низшая теплота сгорания топлива дублирующего источника энергии, МДж/кг.

Принимаем в соответствии с [3] низшая теплота сгорания донецкого угля марки А, $Q_y^H = 24,3$ МДж/кг; мазута марки М-40, $Q_y^H = 40$ МДж/кг; природного газа, $Q_y^H = 25,6$ МДж/кг.

При расчете условного топлива следует величину, полученную по уравнению (9) разделить на $Q_y^H = 29,3$ МДж/кг.

Полученные расчетные значения замещаемого (экономии) топлива с 1 м^2 гелиополя в климатических условиях г. Севастополя сведены в таблицу.

Таблица 5 – Количество замещаемого с 1 м^2 гелиополя (экономия) топлива при использовании плоского СК (максимальная температура в баке-аккумуляторе 55°C)

Вид топлива	Угол наклона СК 30°		Угол наклона СК 45°		Угол наклона СК 60°		СК, лежащий в горизонтальной плоскости	
	фактич. кг/год	кг условного топлива в год	фактич. кг/год	кг условного топлива в год	фактич. кг/год	кг условного топлива в год	фактич. кг/год	кг условного топлива в год
Электро-нагреватель	263,88	222,45	232,78	196,23	191,50	161,43	323,62	272,81
Мазут	57,46	78,43	50,69	69,19	41,70	56,92	70,47	96,19
Уголь	119,32	98,92	105,26	87,26	86,59	71,78	146,34	121,32
Природный газ (газовый котел)	77,50	65,33	68,36	57,63	56,24	47,41	95,04	80,12

Используя данные таблиц 5, можно оценить необходимое количество производства СК (гелиополя) для замещения углеводородного топлива солнечной энергии при производстве горячей воды в летний (сезонный) период. Примем количество дублирующих источников в Украине (электронагреватель, котел на жидком топливе, угольный котел и газовый котел) в соответствии 1:1,1:1,25:3. И планируемое количество замещаемого топлива для плоских СК – 730 тыс. т.у.т. Исходя из принятых условий потребуются изготовить для гелиоустановок из плоских СК $5925,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2$. Если принять сценарий внедрения СК 1 млн. м^2 в год, то потребуется 6 лет. При этом экономия углеводородного топлива за счет сезонного горячего водоснабжения в общем балансе стороны будет составлять 0,26 %. Снижение валовых выбросов в атмосферу представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Валовые выбросы, т, загрязняющих веществ в атмосферу

Выбросы	Уголь	Мазут	Природный газ
SO_2	60472	26876	0
NO_x	2651	2075	1556
CO	261	343	389
CO_2	2134769	1757884	1341895
Твердые частицы	34281	13	0
V_2O_5	0	8	0
N_2O	32	14	3
CH_4	23	69	23
Расход топлива, (т.у.т.)	2232489	1787282	1343866

Выводы

1. При определении гелиополя сезонных гелиоустановок для ГВС выбор расчетного месяца (при наличии дублирующего источника) самого жаркого месяца года, в соответствии ВСН 52-86, является неоптимальным;

2. Для сезонных гелиоустановок оптический угол наклона гелиополя к горизонту определяется из условий расчетного месяца. Применительно к климатическим условиям г. Севастополя при расчетном месяце июль угол наклона равен нулю. В этом случае сокращаются затраты на строительство опорных конструкций для СК;

3. Уточнены уравнения для определения количества замещающего топлива фактического и условного;

4. Строительство сезонных гелиоустановок для ГВС является весьма привлекательным, т.к. при этом существенно снижаются затраты на строительство и их эксплуатацию. При эксплуатации систем ГВС (для летних условий сжигая 1 млн. т.у.т.), сезонные гелиоустановки (с дублирующим источником) позволяют замещать 780 тыс. т.у.т. и существенно снизить нагрузку на ОС.

Библиографический список используемой литературы

1. ВСН 52-1986 Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. — М.: Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при госстрое СССР; Изд-во стандартов, 1986. — 14 с. — (Ведомственные строительные нормы).

2. СНиП 2.04.01-1985 Внутреннее водоснабжение и канализация зданий. — Взамен СНиП II-30-76 и СНиП II-34-75М; введ. 1996-07-11. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 138 с. — (Строительные нормы и правила).

3. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод / отв. ред. Г.М. Каган [и др.]. — Санкт-Петербург: Изд-во НПО ЦКТИ-ВТИ, 1998. — 257 с.

Поступила в редакцию 15.03.2011 г.

Макаров В.В., Горалевич К.К., Горбатих О.І. Використання сонячних установок для сезонного гарячого водопостачання

У роботі розглядаються сезонні геліоустановки гарячого водопостачання та їх коефіцієнт корисної дії, при змінних зовнішніх параметрах: кліматичних умовах і конструктивних рішеннях.

Ключові слова: геліоустановки, коефіцієнт корисної дії, відсоток палива, яке заміщується, зниження валових викидів забруднюючих шкідливих речовин.

Makarov V.V., Goralevich K.K., Gorbatykh O.I. The use of solar installations for seasonal hot water

The paper deals with seasonal hot water solar systems and their efficiency under changing external parameters: climatic conditions and a constructive solution.

Keywords: solar systems, the efficiency, the percentage of substitute fuel, reducing the total emissions of pollutant emissions.