

# ЗООТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.172

## ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГК ВСЕСЕЗОННОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ

П.Ф. Богданович, Д.А. Григорьев

УО «Гродненский государственный аграрный университет»  
г. Гродно, Республика Беларусь, 230008

***Аннотация.** Оценивается теплопроизводительность пристенного и наклонного гелиоколлекторов, функционирующих в период года с низким уровнем солнечной радиации. Пристенный гелиоколлектор по теплопроизводительности практически равнозначен наклонному. С учетом эксплуатационных особенностей он может рассматриваться как более предпочтительный для все-сезонного использования. При этом большое влияние на теплопроизводительность оказывает температура теплоносителя на входе гелиоколлектора.*

***Summary.** The heating efficiency of wall and sloping heliocollector functioning during a year with low level of solar radiation estimates. Wall heliocollector on heating efficiency is practically equivalent to sloping heliocollector. With a glance of exploitation peculiarities it can be considered as more preferable for year-round usage. Thus big influence on heating efficiency is rendered by heat medium temperature on input of heliocollector.*

**Введение.** Использование солнечной энергии в системах горячего водоснабжения и отопления зданий находит все большее распространение в странах Европы, в том числе и в северных странах, таких как Норвегия, Швеция и Финляндия [1, 2, 3]. Высокая эффективность тепловых гелиоустановок в летние месяцы, когда плотность потока солнечного излучения высокая, практически доказана и не вызывает сомнения [2]. Наряду с этим представляет интерес определить возможность использования этих устройств в периоды года, когда солнечная инсоляция мала, и при низких температурах окружающего воздуха.

**Цель работы.** Требуется определить теплопроизводительность гелиоколлекторов (ГК) тепловых гелиоустановок при их эксплуатации в холодный период года в условиях Беларуси – в период с ноября по март месяц.

**Материал и методика исследований.** Согласно источнику [2], теплопроизводительность ГК можно определить как

$$q_K = E_K \cdot \Phi \cdot \eta_0; \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день}), \quad (1)$$

где  $E_K$  – среднемесячное дневное количество солнечной энергии, поступающее на поверхность ГК за день, МДж/(м<sup>2</sup> · день);

$\Phi$  – среднемесячная величина степени использования солнечной энергии в ГК;

$\eta_0$  – эффективный оптический КПД ГК [3].

Значение  $E_K$  находится как

$$E_K = R \cdot E; \text{ МДж / (м}^2 \cdot \text{день)}, \quad (2)$$

где  $R$  – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной энергии, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности;

$E$  – среднемесячное дневное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность.

Входящее в (1) величина  $\Phi > 0$  когда плотность потока суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхность ГК  $I_K > I_{KP}$ , то есть больше некоторого критического значения, определяемого как

$$I_{KP} = \frac{K_k}{\eta_0} (T_{TH} - T_B); \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

где  $K_k$  – эффективный коэффициент теплопотерь ГК, зависящий от его конструктивных особенностей, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$T_{TH}$  – температура теплоносителя на входе ГК, °С;

$T_B$  – температура наружного воздуха, °С.

Величина  $R$  из соотношения (2) для ГК с южной ориентацией выражается как

$$R = \left(1 - \frac{E_D}{E}\right) R_{II} + \frac{1 + \cos\beta}{2} \frac{E_D}{E} + \rho \frac{1 - \cos\beta}{2}, \quad (4)$$

где  $E_D$  – среднемесячное дневное количество диффузной солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м<sup>2</sup> · день);

$R_n$  – коэффициент пересчета прямого излучения с горизонтальной поверхности на наклонную;

$\beta$  – угол наклона плоскости ГК к горизонту, град.,

$\rho$  – коэффициент отражения для подстилающей поверхности (летом  $\rho \approx 0,2$ ; зимой, при наличии снежного покрова,  $\rho \approx 0,7$ ).

Среднемесячная величина коэффициента  $R_{II}$  равна

$$R_{II} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin\omega'_3 + \frac{\pi}{180} \omega'_3 \sin(\varphi - \beta) \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \omega_3 \sin\varphi \sin\delta}, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – широта местности, град.;

$\delta$  – склонение Солнца, град.;

$\omega_3$  и  $\omega'_3$  – часовой угол захода Солнца на горизонтальной и наклонной поверхности, град.;

При этом в данный день ( $n = 1 \dots 365$ )

$$\delta_n = 23,45 \sin(360 \cdot \frac{284+n}{365}). \quad (6)$$

Часовые углы

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta). \quad (7)$$

$$\omega'_3 = \min \left[ \arccos \left[ \operatorname{tg}(\varphi - \beta) + \operatorname{tg} \delta \right] \right]. \quad (8)$$

Для региона г. Гродно ( $\varphi = 54$  град.), при южном направлении ориентации ГК и двух значениях угла наклона плоскости ГК к горизонту ( $\beta = 54$  град. и  $\beta = 90$  град.), значения величин  $\delta$ ,  $\omega_3$ ,  $\omega'_3$  и  $R_n$ , полученные с помощью соотношений (5-8), приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Среднемесячные значения коэффициента перерасчета прямого солнечного излучения

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\delta$ , град.	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23,0	
$\omega_3 = \omega'_3$ , град.	58	72	87	77	62	54	58	71	87	77	62	54	
$R_n$	$\beta=54$ град.	4,6	2,9	1,8	1,3	1,1	1,0	1,0	1,2	1,6	1,3	4,4	5,2
	$\beta=90$ град.	3,7	2,4	1,5	1,1	0,9	0,8	0,85	0,96	1,3	1,1	3,6	4,2

Помесячные значения коэффициента  $R$ , входящего в формулу (2), были вычислены согласно выражению (4) при величинах  $\rho$  и  $E_g / E$ , заимствованных из [3] и приведены в табл. 2.

Здесь же приводятся среднемесячные дневные значения солнечной энергии  $E_k$ , вычисленные согласно (2). Исходные значения величины  $E$  заимствованы из [4].

При вычислении месячных значений параметра  $\Phi$  использовано аппроксимирующее выражение

$$\Phi = 1 - a_1 p + a_2 p^2, \quad (9)$$

где  $P = (T_{TH} - T_B) \cdot K_K = I_{KP} \cdot \eta_0$  из соотношения (3), Вт/м<sup>2</sup>;

$a_1$  и  $a_2$  – коэффициенты, зависящие от конструкции ГК. Для дальнейших вычислений были приняты:  $a_1 = 5,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/Вт;

$a_2 = 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4/\text{Вт}^2$ ;  $\eta_0 = 0,7$ ;  $K_K = 3 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{С})$  при  $\beta = 90 \text{ град.}$ ;

$K_K = 3,5 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{С})$  при  $\beta = 54 \text{ град.}$

Таблица 2 – Среднемесячные дневные количества солнечной энергии, поступающие на поверхность ГК

Месяцы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\rho$		0,7	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6
$E_d / E$		0,92	0,73	0,64	0,56	0,45	0,49	0,53	0,66	0,61	0,67	0,69	0,80
R	$\beta=54$ град.	1,23	1,51	1,26	1,07	0,99	0,94	0,95	0,96	1,13	0,94	1,95	1,79
	$\beta=90$ град.	1,20	1,35	1,11	0,89	0,81	0,76	0,76	0,76	0,90	0,82	1,59	1,54
$E_k,$ $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 \text{ день}}$	$\beta=54$ град.	2,8	7,2	11,9	13,7	17,3	21,7	18,3	14,5	12,0	5,34	4,10	2,65
	$\beta=90$ град.	2,52	6,45	10,5	11,4	14,1	17,6	14,5	11,5	9,5	4,66	3,34	2,28

Эти данные характерны для ГК типа СПК-2 (с двухслойным остеклением) [3]. Среднемесячные дневные значения температуры наружного воздуха  $T_e$  заимствованы из [4] и в расчетах приняты с поправками: для зимних месяцев  $+3 \text{ } ^\circ\text{С}$ ; для осенних и весенних месяцев  $+5 \text{ } ^\circ\text{С}$ ; для летних месяцев  $+10 \text{ } ^\circ\text{С}$  относительно среднесуточного значения. Приняты два значения температуры теплоносителя на входе ГК –  $T_{TH} = 5 \text{ } ^\circ\text{С}$  и  $T_{TH} = 30 \text{ } ^\circ\text{С}$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты расчетов параметра  $\Phi$  и теплопроизводительности ГК, согласно выражению (1), приведены в табл. 3.

Полученные значения теплопроизводительности  $q_K$  для каждого из углов  $\beta$  и двух значений температуры теплоносителя ( $T_{TH}=5^\circ\text{С}$  и  $30^\circ\text{С}$ ) существенно отличаются. Наряду с этим параметр  $\Phi$  и, соответственно,  $q_K$  для угла  $\beta=54$  град. в зимние месяцы могут иметь и меньшие значения по причине больших удельных теплопотерь  $K_K$ , чем принятых в расчетах. Кроме того, значение переменной  $p = p(I_{кр})$  и коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  для условий региона г.Гродно могут иметь иные значения, особенно для ГК, установленного с углом  $\beta=90^\circ$ . Здесь нужны дополнительные исследования.

Таблица 3 – Среднемесячные величины степени использования солнечной энергии в ГК и его теплопроизводительности при различных условиях работы

Месяцы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_{в}, ^\circ\text{C}$		-2,1	-1,5	4,4	11,3	18	26,2	28	26,8	17,6	12	6,6	0,2
$\Phi$ при $\beta=90$ град.	$T_{\text{гн}}=5^\circ\text{C}$	0,89	0,9	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	0,92
	$T_{\text{гн}}=30^\circ\text{C}$	0,54	0,61	0,6	0,62	0,81	0,94	0,97	0,95	0,83	0,73	0,69	0,57
$\Phi$ при $\beta=54$ град.	$T_{\text{гн}}=5^\circ\text{C}$	0,86	0,87	0,99	1	1	1	1	1	1	1	1	0,92
	$T_{\text{гн}}=30^\circ\text{C}$	0,48	0,49	0,57	0,72	0,77	0,92	0,96	0,94	0,78	0,68	0,6	0,51
$\frac{МДж}{\text{м}^2 \text{ день}}$ $\beta=90$ град.	$T_{\text{гн}}=5^\circ\text{C}$	1,57	4,06	7,28	7,98	9,87	12,3	10,1	8,05	6,65	3,26	2,34	1,47
	$T_{\text{гн}}=30^\circ\text{C}$	0,9	2,75	4,4	4,95	7,99	11,6	9,85	7,65	5,52	2,38	1,61	0,91
$\frac{МДж}{\text{м}^2 \text{ день}}$ $\beta=54$ град.	$T_{\text{гн}}=5^\circ\text{C}$	1,68	4,38	8,25	9,6	12,1	15,2	12,8	10,1	8,4	3,74	2,87	1,7
	$T_{\text{гн}}=30^\circ\text{C}$	,94	2,47	4,75	6,9	9,3	13,9	12,3	9,54	6,55	2,54	1,72	0,95

**Заключение.** На основе полученных результатов можно утверждать, что:

1. В условиях региона г. Гродно в зимние месяцы среднемесячная теплопроизводительность ГК составляет значение не менее 0,9 МДж/(м<sup>2</sup> день).
2. Большая теплопроизводительность достигается при температуре теплоносителя на входе ГК  $T_{\text{тн}}=5^{\circ}\text{C}$ . При таком режиме работы ГК целесообразно в системе теплоснабжения иметь теплонасосную установку.
3. Пристенный ГК [5] ( $\beta=90$  град) по теплопроизводительности в зимние месяцы мало уступает ГК, установленному с оптимальным для всесезонного использования углом ( $\beta=54^{\circ}$ ). В этой связи, а также с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей (выполнение функции утепления стен здания, удобство в обслуживании) можно утверждать, что пристенный ГК для всесезонного использования предпочтительнее ГК обычных конструкций, устанавливаемых на крышах зданий.

Для уточнения характеристик пристенного ГК, функционирующего в течение года, требуются дальнейшие исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эрат Б., Вулстон Д. Теплица в вашем доме : Справ. пособ. Пер. фин. – М. : Стройиздат, 1994. – 191 с.
2. Эффективные системы отопления зданий. /В.Е. Минин, В.К. Аверьянов, Е.А. Белинский и др.: под общей ред. В.Е. Минина. – Л.: Стройиздат. Ленинград отд-ие. 1988. – 216с.
3. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. ч. 1. Отопление /В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканава и др.: Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Ниллера. – 4-е изд.-М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
4. Энциклопедия природы Беларусі (у пяці тамах) т.2.-Мн.: Бел. Савецкая энциклапедыя, 1983.
5. Пристенный гелиоколлектор / Патент РБ на полезную модель № 3760, МПК F 24J 2/42 // Аф. бюлетэнь “Вынаходніцтва, карысныя мадэлі, прам. узоры” – 2007, – №4, с. 227.