

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕВОДА ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКИХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Как правило, в справочниках интенсивность солнечной радиации дается для горизонтальной поверхности. Поэтому для произвольно ориентированных поверхностей возникает необходимость перевода табличных значений интенсивности радиации от горизонтальной поверхности к поверхности данной ориентации. Для перевода интенсивности радиации используются так называемые коэффициенты перевода. В настоящее время существует метод определения коэффициентов перевода солнечной энергии с горизонтальной на произвольно ориентированную поверхность для плоских водонагревателей. Однако, не имеется метода расчета этих коэффициентов для цилиндрических поверхностей трубчатых солнечных водонагревателей. В данной статье предлагается метод определения коэффициентов перевода значений прямых и диффузных солнечных лучей с горизонтальной поверхности на произвольно ориентированную поверхность для трубчатых водонагревателей. Даны соответствующие формулы для правильного расчета поглощающих поверхностей трубчатых солнечных водонагревателей.

Ключевые слова: Коэффициент перевода, плоский и трубчатый водонагреватели, прямое и рассеянное излучение, приемная поверхность, угол наклона, часовой угол, азимутальный угол.

Солнечная энергия достигает околоземного пространства в виде направленного потока солнечного космического излучения, которое в атмосфере земли частично подвергается рассеиванию молекулами воздуха, водяного пара и пыли. Часть рассеянного излучения достигает поверхности Земли. Поэтому, на поверхности Земли регистрируется как прямое, так и рассеянное солнечные излучения (рис.1). Из рис.1 видно, что прямое излучение E_{dir} солнечной радиации поступает на поверхность Земли без изменения направления, а рассеянное или диффузное излучение E_{dif} претерпевает изменения как в направлении, так и в величине из-за отражения и поглощения молекулами атмосферного воздуха [1].

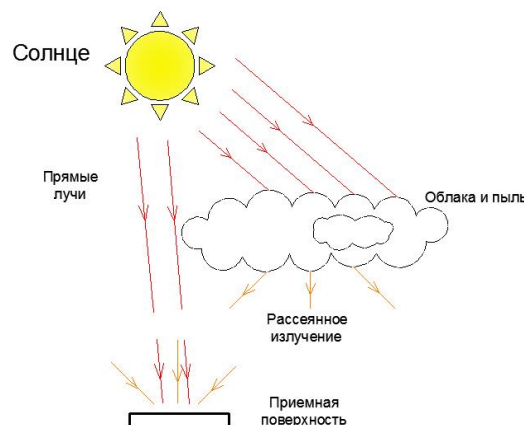


Рис.1. Прямое и рассеянное излучения

Прямые лучи от диффузных отличаются тем, что могут быть сфокусированы. Однако, даже в ясный день имеется некоторое количество рассеянного излучения. Поэтому для проектирования солнечных водонагревателей важно различать компоненты солнечного излучения и выделить поверхность, на которой измеряется облученность, то есть определить располагаемое количество солнечной энергии. Для улавливания максимального количества солнечной энергии за расчетный период, приемную поверхность солнечного водонагревателя обычно устанавливают под оптимальным углом γ наклона к горизонту. Если поверхность обращена к экватору, угол считается положительным. Таким образом, суммарное излучение на наклонную поглощающую поверхность солнечного водонагревателя можно записать с помощью следующего выражения:

$$E_{sum} = R_{dir} \cdot E_{dir}^0 + R_{dif} \cdot E_{dif}^0, \quad (1)$$

где E_{dir}^0 и E_{dif}^0 - прямое и рассеянное излучения, поступающие на единицу горизонтально расположенной поверхности,

R_{dir} и R_{dif} - коэффициенты перевода интенсивностей прямых и рассеянных солнечных радиаций с горизонтальной поверхности на наклонную приемную поверхность.

Направление распространения прямого солнечного излучения.

Чтобы рассчитать располагаемую интенсивность прямой солнечной радиации на поверхность солнечного водонагревателя, установленного в данной точке P поверхности Земли, необходимо знать углы падения прямых солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности. Местоположение точки P относительно прямых солнечных лучей в данный момент времени определяется широтой φ , часовым углом ω и склонением Солнца δ (рис.2), [1,2,3,4,5].

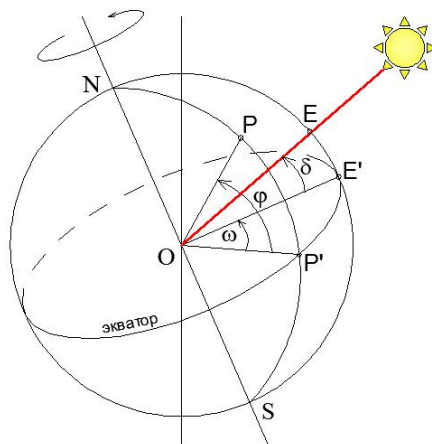


Рис.2. Схема определения направления распространения прямого солнечного излучения относительно точки P поверхности Земли

Широта φ - это угол между линией, соединяющей точку P с центром Земли O и ее проекцией на плоскость экватора, величина которого положительна для северного полушария и отрицательна для южного полушария.

Часовой угол ω относительно точки P - это угол, на который Земля поворачивается с момента солнечного полудня. В солнечный полдень часовой угол равен нулю $\omega=0$, а 1 ч. соответствует 15° , значения которого до полудня считаются положительными, а после полудня отрицательными.

Угол склонения солнца δ - это угол между направлением прямых солнечных лучей и экваториальной плоскостью в солнечный полдень. В течение года угол склонения непрерывно

изменяется от $\delta_o=23^\circ27'$ до $\delta_o=-23^\circ27'$, при этом в период летнего солнцестояния он составляет $\delta_o=23^\circ27'$, в период зимнего солнцестояния - $\delta_o=-23^\circ27'$, а в дни весеннего и осеннего равноденствия $\delta_o=0$. Вышеизложенное показано на (рис.3) [3].

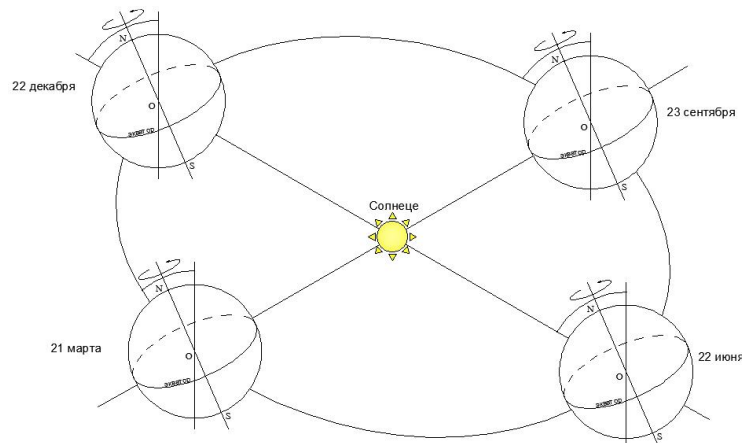


Рис.3. Изменения угла падения δ_o на схеме вращения Земли вокруг Солнца

Склонение Солнца в данный день определяется по приближенной формуле Купера:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right), \quad (2)$$

где n -порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января. В качестве n обычно берется номер среднего расчетного дня месяца.

Кроме основных углов φ , ω и δ , в расчетах солнечной радиации используют также угол падения прямого солнечного излучения θ и азимутальный угол γ приемной поверхности солнечного водонагревателя. Азимутальный угол γ - это отклонение нормали к приемной поверхности от направления на юг (рис.4). За начало отсчета азимутального угла принимается южное направление, и отклонение к востоку считается положительным, а к западу – отрицательным. Угол падения прямого солнечного излучения θ – это угол между направлением потока прямого солнечного излучения и нормалью к приемной поверхности (рис.4), [2,3,5].

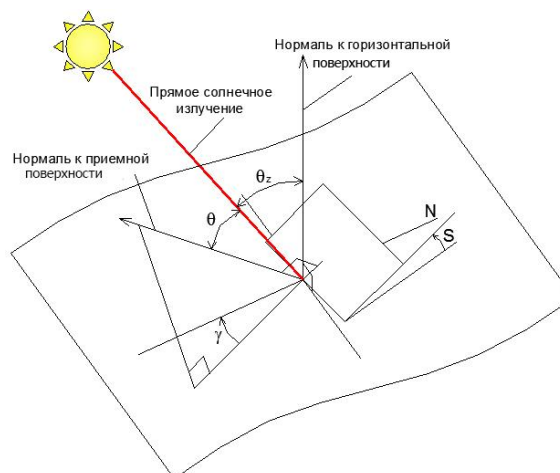


Рис.4. Угол наклона s , угол падения прямого солнечного излучения θ и азимут γ на наклонной поверхности

На рис.4 угол θ_z - это зенитный угол солнечных лучей, который показывает угол между потоком прямого солнечного излучения и нормалью к горизонтальной поверхности.

Угол падения солнечных лучей на произвольно ориентированную поверхность, имеющую азимут γ и угол наклона s к горизонтальной поверхности, определяется по формуле [3]

$$\cos\theta = (\sin\varphi \cos s - \cos\varphi \sin s \cos\gamma) \sin\delta + [\sin s \sin\gamma \sin\omega + (\cos\varphi \cos s + \sin\varphi \sin s \cos\gamma) \cos\omega] \cos\delta \quad (3)$$

Во многих случаях общая формула (4) существенно упрощается, и для наклонной поверхности с южной ориентацией ($\gamma=0$) формулу (4) можно записать:

$$\cos\theta^{south} = (\sin\varphi \cos s - \cos\varphi \sin s) \sin\delta + (\cos\varphi \cos s + \sin\varphi \sin s) \cos\omega \cos\delta \quad \text{или} \\ \cos\theta^{south} = \sin(\varphi - s) \sin\delta + \cos(\varphi - s) \cos\omega \cos\delta \quad (4)$$

Угол падения прямых солнечных лучей на горизонтальную поверхность ($s=0$) можно записать:

$$\cos\theta_z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\omega \cos\delta \quad (5)$$

В этом случае угол падения прямых солнечных лучей θ и есть зенитный угол θ_z (рис.3).

Для вертикальной поверхности ($s=90^\circ$) угол падения прямых солнечных лучей:

$$\cos\theta^{90^\circ} = [\sin\gamma \sin\omega + \sin\varphi \cos\gamma \cos\omega] \cos\delta - \cos\varphi \cos\gamma \sin\delta \quad (6)$$

Полученные выражения угла падения прямых солнечных лучей применимы для приемных поверхностей плоских солнечных водонагревателей. Для цилиндрических солнечных водонагревателей отклонение нормали к приемной поверхности от направления на юг, то есть азимутальный угол γ , в течение дня изменяется (рис.5).

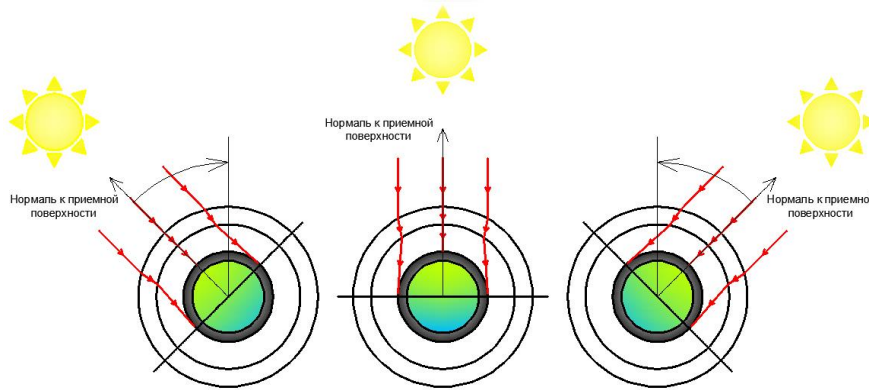


Рис.5. Расположение приемной поверхности цилиндрического солнечного водонагревателя и Солнца в течение дня

Как видно из рис.5, угол между лучами прямого солнечного излучения и нормалью к приемной поверхности цилиндрического водонагревателя в течение дня одинаков. Как будто приемная поверхность цилиндрического водонагревателя в течение дня следит за Солнцем.

Изменение отклонения нормали к приемной поверхности цилиндрического водонагревателя от направления на юг в течение дня равно часовому углу ω . Азимутальные углы $\gamma_{cyl.}$ приемной поверхности цилиндрического водонагревателя, с углом наклона s , для некоторых вариантов величин азимута местности γ и часового угла ω , представлены на рис.6.

Как видно из рис.6, в расчетах угла падения солнечных лучей на приемную поверхность трубчатых цилиндрических водонагревателей, азимутальный угол должен приниматься по следующей сумме:

$$\gamma_{\chi\psi\lambda.} = \gamma + \omega \quad (7)$$

Угол падения солнечных лучей на произвольно ориентированную цилиндрическую поверхность, имеющую азимут γ и угол наклона s , определяется по формуле (8):

$$\cos\theta_{cyl.} = (\sin\varphi \cos s - \cos\varphi \sin s \cos(\gamma + \omega)) \sin\delta + [\sin s \sin(\gamma + \omega) \sin\omega + (\cos\varphi \cos s + \sin\varphi \sin s \cos(\gamma + \omega)) \cos\omega] \cos\delta \quad (8)$$

Если угол падения солнечных лучей на наклонную цилиндрическую поверхность с южной ориентацией ($\gamma=0$), то формулу (8) можно записать:

$$\cos \theta_{cyl.}^{South} = \sin \varphi \cos s \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos(s + \delta) + \sin s \cos \delta (\sin^2 \omega + \sin \varphi \cos^2 \omega) \quad (9)$$

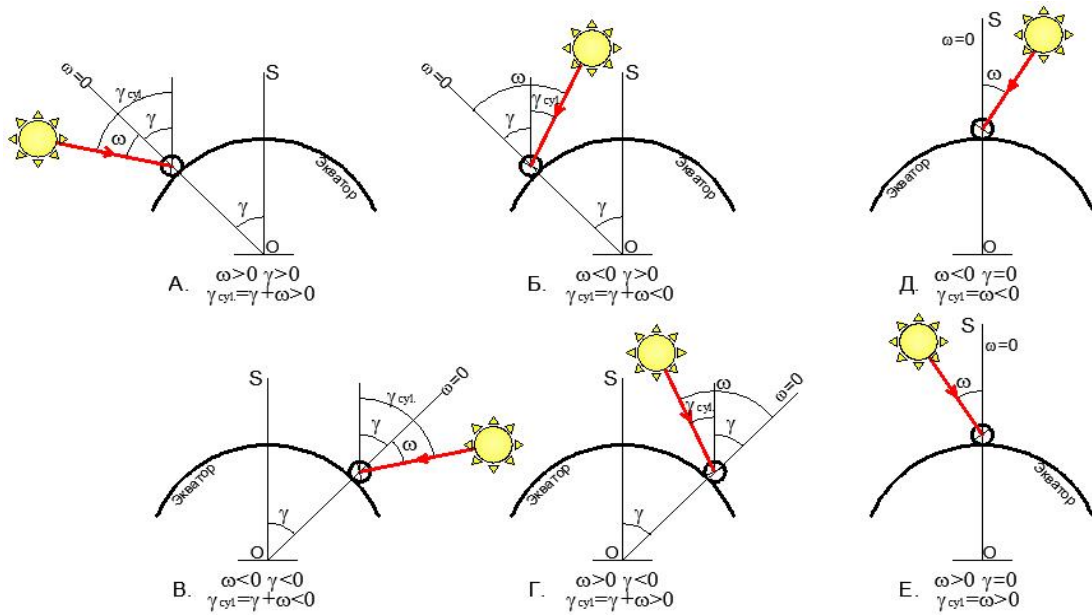


Рис.6. Азимутальный угол $\gamma_{cyl.}$ приемной поверхности трубчатого водонагревателя для некоторых вариантов величин азимута местности γ и часового угла ω

Коэффициент пересчета $R_{dir.}^{flat}$ интенсивности прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонные приемные поверхности плоских водонагревателей с южной ориентацией определяется по следующей формуле [2,4]

$$R_{dir.}^{flat} = \frac{E_{dir.}^{flat}}{E_{dir.}^o} = \frac{\cos \theta_{dir.}^{south}}{\cos \theta_z} \quad \text{или} \quad R_{dir.}^{flat} = \frac{\sin(\varphi - s) \sin \delta + \cos(\varphi - s) \cos \omega \cos \delta}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos \delta}. \quad (10)$$

А для определения коэффициента пересчета $R_{dir.}^{cyl.}$ для цилиндрических водонагревателей с южной ориентацией предлагаем следующую формулу:

$$R_{dir.}^{cyl.} = \frac{E_{dir.}^{cyl.}}{E_{dir.}^o} = \frac{\cos \theta_{cyl.}^{south}}{\cos \theta_z} \quad \text{или}$$

$$R_{dir.}^{cyl.} = \frac{\sin \varphi \cos s \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos(s + \delta) + \sin s \cos \delta (\sin^2 \omega + \sin \varphi \cos^2 \omega)}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos \delta}. \quad (11)$$

В таблице даны значения коэффициентов пересчета для плоского и цилиндрического водонагревателей с южной ориентацией и с углом наклона $s=30^\circ$, рассчитанных соответственно по формулам (10) и (11).

Как видно из таблицы, согласно формуле (1), в часы до и после полудня (в утренние и дневные часы) интенсивность переведенных прямых солнечных лучей, освещающих приемную поверхность цилиндрического водонагревателя, больше по сравнению с плоским водонагревателем.

Таким образом, цилиндрическая форма водонагревателя позволяет получать больше прямой солнечной радиации, чем форма плоского водонагревателя. Это преимущество цилиндрических водонагревателей более существенно в течение сезона или года.

Таблица

Значения коэффициентов пересчета для плоского и цилиндрического водонагревателей с южной ориентацией и с углом наклона $s=30^\circ$

Месяц	Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
Тип водонагревателя	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый
Длительность дня, ч	9,46		10,48		11,68		13,06		14,21		14,83	
Часы	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$
5-6	-	-	-	-	-	-	0,28	5,57	-	5,20	-	3,79
6-7	-	-	-	-	1,77	8,19	0,77	3,23	0,59	2,37	0,54	2,13
7-8	7,15	13,11	2,38	4,46	1,41	2,71	1,02	1,99	0,85	1,69	0,79	1,59
8-9	2,46	3,29	1,78	2,42	1,36	1,89	1,10	1,56	0,96	1,38	0,91	1,31
9-10	2,00	2,28	1,62	1,87	1,34	1,57	1,13	1,34	1,02	1,21	0,97	1,16
10-11	1,84	1,93	1,56	1,64	1,33	1,41	1,15	1,22	1,05	1,11	1,00	1,06
11-12	1,78	1,79	1,54	1,55	1,33	1,34	1,16	1,17	1,06	1,07	1,01	1,02
12-13	1,78	1,79	1,54	1,55	1,33	1,34	1,16	1,17	1,06	1,07	1,01	1,02
13-14	1,84	1,93	1,56	1,64	1,33	1,41	1,15	1,22	1,05	1,11	1,00	1,06
14-15	2,00	2,28	1,62	1,87	1,34	1,57	1,13	1,34	1,02	1,21	0,97	1,16
15-16	2,46	3,29	1,78	2,42	1,36	1,89	1,10	1,56	0,96	1,38	0,91	1,31
16-17	7,15	13,11	2,38	4,46	1,41	2,71	1,02	1,99	0,85	1,69	0,79	1,59
17-18	-	-	-	-	1,77	8,19	0,77	3,23	0,59	2,37	0,54	2,13
18-19	-	-	-	-	-	-	0,28	5,57	-	5,20	-	3,79

продолжение таблицы

Месяц	Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
Тип водонагревателя	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый	Плоский	Трубчатый
Длительность дня, ч	14,59		13,60		12,27		10,93		9,76		9,18	
Часы	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$	R_{dir}^{flat}	$R_{dir}^{cyl.}$
5-6	-	4,21	-	4,01	-	-	-	-	-	-	-	-
6-7	0,56	2,21	0,66	2,74	1,08	4,77	-	-	-	-	-	-
7-8	0,81	1,63	0,93	1,83	1,20	2,33	1,87	3,54	4,43	8,19	3,92	5,91
8-9	0,93	1,34	1,03	1,47	1,23	1,73	1,59	2,18	2,21	2,97	2,76	3,68
9-10	0,99	1,18	1,08	1,27	1,24	1,46	1,50	1,74	1,87	2,14	2,13	2,43
10-11	1,02	1,08	1,10	1,17	1,25	1,32	1,47	1,54	1,75	1,83	1,94	2,03
11-12	1,03	1,04	1,11	1,12	1,25	1,26	1,45	1,46	1,70	1,71	1,87	1,88
12-13	1,03	1,04	1,11	1,12	1,25	1,26	1,45	1,46	1,70	1,71	1,87	1,88
13-14	1,02	1,08	1,10	1,17	1,25	1,32	1,47	1,54	1,75	1,83	1,94	2,03
14-15	0,99	1,18	1,08	1,27	1,24	1,46	1,50	1,74	1,87	2,14	2,13	2,43
15-16	0,93	1,34	1,03	1,47	1,23	1,73	1,59	2,18	2,21	2,97	2,76	3,68
16-17	0,81	1,63	0,93	1,83	1,20	2,33	1,87	3,54	4,43	8,19	3,92	5,91
17-18	0,56	2,21	0,66	2,74	1,08	4,77	-	-	-	-	-	-
18-19	-	4,21	-	4,01	-	-	-	-	-	-	-	-

Направление распространения рассеянного солнечного излучения.

В предыдущем разделе говорилось о направлении прямого солнечного излучения, которое можно определить с помощью геометрических соотношений. Вопрос о направлении диффузионного излучения более сложен, так как это излучение приходит от различных участков небосвода. Поправочный коэффициент для рассеянной составляющей солнечного излучения зависит от распределения рассеянной радиации по небосводу, которое обычно неизвестно. Кроме того, некоторое количество солнечной радиации отражается от поверхности Земли и попадает на поверхность коллектора. При определении поправочного коэффициента для диффузионной радиации, распределение рассеянной радиации по небосводу принимается как равномерное [1]. В этом случае поток рассеянной радиации на произвольно ориентированную поверхность зависит только от того, какую часть небосвода “видит” приемник [4,5]. Поверхность, наклоненная к горизонту под углом s , “видит” часть небосвода в ракурсе $(1+\cos s)/2$ [2], который и есть поправочный коэффициент для учета рассеянной радиации:

$$R_{dif.} = \frac{E_{dif.}}{E_{dif.}^o} = \frac{1 + \cos s}{2}. \quad (12)$$

Наклоненная приемная поверхность “видит” также и другие окружающие ее поверхности, и если эти поверхности обладают диффузионной отражательной способностью ρ , то отраженное от них излучение составляет $(1-\cos s)\rho/2$ часть суммарной солнечной радиации и представляет собой поправочный коэффициент суммарной солнечной радиации, отраженной от окружающих поверхностей и земли:

$$R_{dif.} = \frac{E_{dif.} + E_{dif.}}{E_{dif.}^o + E_{dif.}^o} = \frac{1 - \cos s}{2} \rho. \quad (13)$$

Коэффициент отражения поверхности Земли и окружающих поверхностей ρ обычно принимается 0,7 для зимы при наличии снежного покрова, и 0,2 - для лета [2].

Для плоских водонагревателей углы падения диффузных солнечных лучей принимаются 60° , так как в данный момент времени углы падения диффузных лучей разные и принимают значения в диапазоне от 0 до 90° . А на прозрачную поверхность трубчатых водонагревателей диффузные солнечные лучи падают как прямые, но в этом случае поглощающая площадь отличается (рис. 7).

Для проектирования солнечных водонагревателей важно правильно определить величину поверхности, получающей диффузную радиацию. Так как диффузные лучи распространяются по небосводу равномерно, то они освещают всю теплопоглощающую поверхность внутренней металлической трубы (рис.7). Поэтому площадь трубчатого водонагревателя, поглощающую диффузные солнечные лучи, можно определить по следующей формуле:

$$F_{dif} = \pi \ell d_{m.tub.out}. \quad (13)$$

Из рис.7 следует также, что оптические потери в прозрачных покрытиях трубчатых водонагревателей, изученных в [6], меньше по сравнению с прозрачными покрытиями плоских водонагревателей, так как диффузные солнечные лучи падают на прозрачные покрытия трубчатых водонагревателей почти под прямым углом.

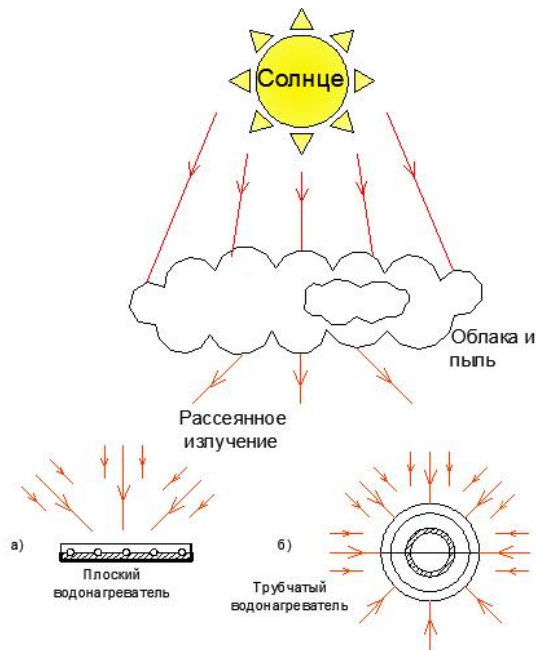


Рис. 7. Падение диффузных солнечных лучей на поглощающие поверхности плоских и трубчатых водонагревателей

Выводы

1. В часы до и после полудня интенсивность прямых солнечных лучей, освещающих приемную поверхность цилиндрического водонагревателя, больше по сравнению с плоским водонагревателем. Таким образом, за счет своих геометрических форм трубчатые водонагреватели имеют возможность в течение дня поглощать больше прямой солнечной энергии, чем плоские водонагреватели.
2. Оптические потери в прозрачных покрытиях трубчатых водонагревателей меньше по сравнению с прозрачными покрытиями плоских водонагревателей, так как диффузные солнечные лучи падают на прозрачные покрытия трубчатых водонагревателей почти под прямым углом по всей окружности.
3. Как показали отдельные исследования, указанное преимущество трубчатых водонагревателей в среднем на 7,5 % увеличивает возможность поглощения солнечной энергии по сравнению с плоскими водонагревателями.

Վ.Բ.Նուսինյան

ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻՑ ՀԱՐԹ ԵՎ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՋՐԱՏԱՔԱՅՈՒՑԻՉՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻՆ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԸ

Որպես կանոն, տեղեկատվություն արևային ճառագայթման ինտենսիվության տվյալները բերվում են հորիզոնական մակերևույթի համար: Այդ իսկ պատճառով կամայական կողմնորոշման մակերևույթների համար հարկ է լինում վերահաշվարկել ճառագայթման ինտենսիվության աղյուսակային տվյալները՝ տրված այլ կողմնորոշման մակերևույթի համար: Այդ նպատակով օգտագործվում են այսպես կոչված վերահաշվարկման գործակիցներ: Ներկայումս արևային հարթ ջրատաքացուցիչների համար գոյություն ունի վերահաշվարկման գործակիցների որոշման մեթոդ: Սակայն դեռևս չի մշակվել համապատասխան մեթոդ արևային գլանային ջրատաքացուցիչների համար: Սույն հոդվածում առաջարկվում է հորիզոնական մակերևույթից կամայական կողմնորոշմամբ գլանային արևային

ջրատաքացուցիչների մակերևութների վրա արևային ուղիղ և ցրված ճառագայթների ինտենսիվության վերահաշվարկման գործակիցների որոշման մեթոդ: Տրված են արևային գլանային ջրատաքացուցիչների կլանող մակերևութների ճշգրիտ որոշման համապատասխան բանաձևեր:

Առանցքային բառեր. վերահաշվարկման գործակից, հարթ և գլանային ջրատաքացուցիչներ, ուղիղ և ցրված ճառագայթում, ընդունող մակերևույթ, թեքման անկյուն, ժամային անկյուն, ազիմուտային անկյուն:

V.B. Nranyan

CONVERSION FACTORS OF SOLAR RADIATION INTENSITY ON HORIZONTAL SURFACE INTO SURFACES OF FLAT AND CYLINDRICAL SOLAR WATER HEATERS

Generally, in guides intensities of solar radiation are given for horizontal surfaces. Consequently, for arbitrary surfaces it is becoming necessary to convert it from horizontal surface to surfaces of other orientations. For this purpose, so called correction factors are used. At present, a method for conversion of intensity of solar radiation exists from horizontal surface to arbitrarily chosen surface of flat type solar water heaters. However, no methods were developed for definition of conversion factors for curved surface of cylindrical solar water heaters.

Method for determining the conversion factors for direct and diffuse solar radiation on horizontal surface onto arbitrarily oriented surface of cylindrical solar water heaters are developed. The appropriate formulas for evaluation of correct values of those factors and absorbing surfaces of cylindrical solar water heaters are given.

Keywords: conversion factor, cylindrical and flat water heaters, direct and diffuse solar radiation, receiving surface, incidence angle, azimuth angle, angle of time.

Литература

1. **Twidell J.W., Weir A.D.** Renewable Energy Sources. 2nd Edition. Great Britain: MPG Books Ltd, 2006. 605p.
2. **Харченко Н.В.** Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.
3. **Sproul A.B.** Derivation of the solar geometric relationships using vector analysis// Renewable Energy. 2007. N32. P.1187-1205.
4. **Даффи Дж.А., Бекман У.А.** Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977. 420 с.
5. **Garg H.P., Prakash J.** Solar energy fundamentals and applications. New Delhi 7th reprint. Tata McGraw-Hill Publishing Ltd, 2006. 430 p.
6. **Nranyan V.** Study of optical phenomena in transparent covers of solar cylindrical water heaters aiming at evaluation of efficiency of penetration // Proceedings of scientific developments of YSUAC. 2012. Vol. IV. P.143-151.

Նռանյան Վահան Բագրատի, (ՀՀ, ք. Երևան)-ԵՃՇՊՀ, Հիդրավիկայի, ջերմագազամատակարարման և օդափոխության ամբիոն; քջ. (077) 67-66-46

Нранян Ваан Багратович, (РА, г.Ереван)-ЕГУАС, кафедра Гидравлики, теплогазоснабжения и вентиляции; моб. (077) 67-66-46

Nranyan Vahan Bagrat, (RA, Yerevan)-YSUAC, chair of Hydraulics, heat and gas supply and ventilation; cell: (077) 67-66-46

Ներկայացվել է՝ 14.03.2013թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 11.04.2013թ.