

УДК 551.521.31

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИЮ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА КАЗАХСТАНА

Г.Б. Садуакасова, И.А. Пястолова, П.Ю. Ключева

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

E-mail: c.gylnara68@mail.ru

*Представлено исследование сезонного поступления суммарной солнечной радиации для 2009 г. на территории Казахстана. Сделан вывод о том, что сезонные графики, даже с учетом провалов графиков во время облачности, показывают превышение относительно значений актинометрических наблюдений от 10 до 100 %.*

### **Ключевые слова:**

*Плотность потока солнечного излучения, солнечная энергия, суммарная солнечная радиация, прямая солнечная радиация, рассеянная солнечная радиация.*

### **Key words:**

*Density of a stream of sunlight, solar energy, total solar radiation, direct solar radiation, scattered solar radiation.*

Практически во всех регионах Казахстана жилые дома не могут функционировать без отопительных устройств. Переход на альтернативные решения может быть обеспечен соответствующим научным обоснованием и методической базой создания систем автономного теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.

С этой точки зрения ориентация на первоочередное внедрение систем горячего водоснабжения как наиболее автономной части энергообеспечения жилого дома, безусловно, правильная. Только после этого можно решить более сложную задачу использования солнечной энергии и для отопления дома.

В Казахстане имеется возможность широкомасштабного применения энергии солнечного излучения. В первую очередь необходимо развитие и внедрение гелиоустановок горячего отопления и водоснабжения.

Основным определяющим фактором для расчета производительности гелиосистем является величина плотности потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора.

Согласно литературным источникам, известно [1], что с 1 м<sup>2</sup> плоского солнечного коллектора для коммунально-бытовых нужд можно получать примерно 500 кВт·ч тепла в год.

Перед тем как рассматривать конкретные схемы солнечных систем, необходимо уточнить, пригодны ли вообще климатические условия Казахстана для их создания и развития, и какие комплексы наиболее перспективны в наших условиях.

Целью работы является анализ и определение изменения составляющих солнечного излучения по сезонам года и в течение суток, и как это влияет на производительность гелиоустановок.

Ряды данных наблюдений за различными видами солнечной радиации имеют свои особенности, связанные со спецификой наблюдений. Прежде всего, наблюдения проводятся в сроки, отличные

от сроков, установленных для наблюдения за другими метеорологическими величинами.

Согласно программе статистических исследований, поступления солнечной радиации и измерения составляющих радиационного баланса производятся 6 раз в сутки: в 0 ч 30 мин., 6 ч 30 мин., 9 ч 30 мин., 12 ч 30 мин., 15 ч 30 мин., 18 ч 30 мин. Такие наблюдения не позволяют получить достаточно надежные данные. Стоит в момент наблюдения небольшому облачку прикрыть солнце, как измеряемое значение прямой солнечной радиации резко изменится. По этой причине, а также, исходя из практической необходимости получать суммарный приход солнечного тепла за некоторый отрезок времени (час, сутки, месяц), при климатологической обработке наряду с характеристиками интенсивности солнечной радиации (энергетической освещенности) рассчитывают характеристики сумм солнечной радиации за часовые интервалы, сутки, месяц.

Характеристики часовых сумм получают либо по данным самописцев (которые имеются примерно на 1/3 актинометрических станций), либо с использованием графиков суточного хода. Такие графики строятся по многолетним средним значениям радиации в сроки наблюдений. С графика для середины часового интервала снимаются значения интенсивности, и по этим данным определяются часовые и суточные суммы. Месячные суммы вычисляются как произведение суточного значения на число календарных дней месяца [2].

Регистрация поступающей солнечной радиации, а также ее составляющих производится на метеостанциях. В Республике Казахстан практически во всех областях на метеостанциях осуществляются актинометрические наблюдения, поэтому при использовании такими данными отпадает необходимость в учете прозрачности атмосферы.

Проанализируем данные о величине поступающей солнечной радиации, приведенные в различных литературных источниках и полученные в ходе экспериментальных исследований.

Рассмотрение поступающей солнечной радиации в интервале широт от 40 до 55° с.ш. связано с тем, что территория Республики Казахстан располагается именно между этими широтами.

В табл. 1, 2 приведены данные о приходе соответственно суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность по актинометрическим наблюдениям [2].

**Таблица 1.** Месячный приход суммарной, прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (в числителе – при ясном небе, в знаменателе – при средних условиях облачности)

Месяц	Широта, град. с.ш.				Месяц	Широта, град. с.ш.			
	40	45	50	55		40	45	50	55
Суммарная солнечная радиация, $H_g$ , МДж/м <sup>2</sup>									
Январь	348 210	277 155	201 134	134 84	Июль	909 800	897 763	888 658	884 620
Февраль	440 302	377 264	310 218	243 155	Август	817 767	788 712	763 574	746 553
Март	645 406	595 406	549 402	478 360	Сентябрь	649 595	612 515	570 411	515 306
Апрель	796 570	754 524	708 490	679 473	Октябрь	515 402	461 331	406 251	327 176
Май	909 754	897 725	880 649	872 595	Ноябрь	365 239	293 165	222 134	163 88
Июнь	926 804	922 746	913 691	918 658	Декабрь	302 176	235 134	168 105	105 50
Прямая солнечная радиация, $H_p$ , МДж/м <sup>2</sup>									
Январь	281 105	218 50	151 63	96 29	Июль	742 570	746 524	746 377	729 360
Февраль	348 189	285 151	226 113	176 63	Август	679 570	662 515	645 364	612 344
Март	532 214	486 218	436 218	369 184	Сентябрь	536 448	507 369	478 276	427 180
Апрель	649 360	616 314	582 281	545 243	Октябрь	427 277	377 214	327 147	260 80
Май	767 503	754 473	737 398	721 323	Ноябрь	293 147	235 71	180 67	126 42
Июнь	767 574	771 536	775 444	779 390	Декабрь	239 92	176 71	117 55	71 17
Рассеянная солнечная радиация, $H_d$ , МДж/м <sup>2</sup>									
Январь	105	105	71	55	Июль	230	239	281	260
Февраль	113	113	105	92	Август	197	197	210	210
Март	193	189	184	176	Сентябрь	147	147	134	126
Апрель	210	210	210	230	Октябрь	126	117	105	96
Май	251	251	251	272	Ноябрь	92	84	67	48
Июнь	230	210	247	268	Декабрь	84	63	50	34
Отраженная солнечная радиация, $H_g$ , МДж/м <sup>2</sup>									
Январь	63	80	88	59	Июль	201	184	138	117
Февраль	80	130	138	113	Август	201	180	122	109
Март	101	147	197	230	Сентябрь	193	130	88	63
Апрель	134	126	105	147	Октябрь	109	88	46	46
Май	180	168	130	113	Ноябрь	63	50	59	50
Июнь	193	180	138	126	Декабрь	46	63	63	34

В осенне-зимний период прямая и рассеянная составляющие суммарной солнечной радиации равны между собой и составляют каждая 50 % от суммарной. В весенне-летний период начинает преобладать прямая составляющая, достигая мак-

симума в июне месяце (примерно 65 % от суммарной радиации).

**Таблица 2.** Годовой приход суммарной, прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (в числителе – при ясном небе, в знаменателе – при средних условиях облачности)

Годовая радиация, МДж/м <sup>2</sup>	Широта, град. с.ш.			
	40	45	50	55
Суммарная	7621 6025	7108 5440	6578 4717	6064 4118
Прямая	6260 4098	5832 3507	5401 2803	4911 2554
Рассеянная	1978	1925	1915	1865
Отраженная	1563	1525	1311	1207

В табл. 3 представлены данные о приходе солнечной радиации, полученные нами и соответствующим образом обработанные для условий Акмолинской области, т. е. соответствующие примерно 51° с.ш. Проведенный анализ показывает, что реальные численные значения поступающей суммарной солнечной радиации практически соответствуют приходу суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, согласно [3].

По данным актинометрических справочников трудно судить о солнечной радиации в течение суток в виду того, что измерения составляющих радиационного баланса производится только 6 раз в сутки, поэтому были проведены экспериментальные исследования сезонного и суточного поступления составляющих солнечной радиации на 51° с.ш.

Экспериментальные исследования были проведены лабораторией «Нетрадиционных источников энергии» Казахского агротехнического университета, г. Астана.

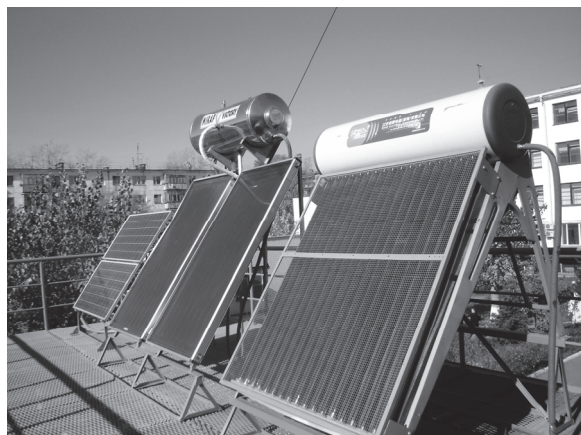
Измерения радиационного баланса были проведены с использованием стандартных пиранометров. Один пиранометр находится на панели солнечной батареи, измеряет суммарную плотность солнечного излучения на наклонную поверхность (рис. 1). Второй пиранометр находится на мачте метеостанции и замеряет плотность солнечного излучения на горизонтальную поверхность.

Исследование сезонного поступления суммарной солнечной радиации для 2009 г. зафиксированы с интервалом 1 ч, для получения данных в течение суток.

Представлены экспериментальные графики зависимости изменения энергетической освещенности на горизонтальную поверхность для января, апреля, июля и октября месяца 2009 г. Построены кривые для 05, 15 и 25 числа месяца, для сравнения на графики нанесена кривая значения плотности солнечной радиации на горизонтальную поверхность, которая строится по многолетним актинометрическим наблюдениям из климатических справочников.

**Таблица 3.** Поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность (для Акмолинской области, 51° с.ш.), МДж/м<sup>2</sup>

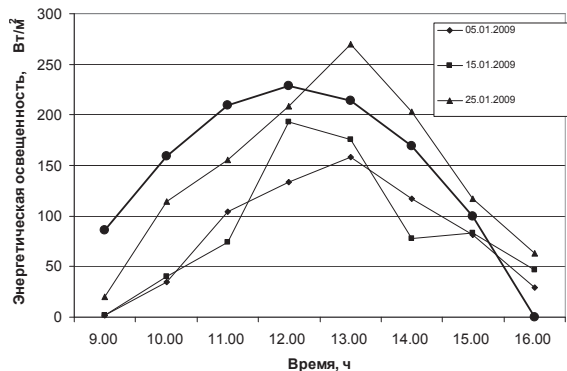
Месяц	Вид радиации	Сумма				Среднее суточное
		за 1 декаду	за 2 декаду	за 3 декаду	за месяц	
Январь	Суммарная	33,4	44,6	64,4	142,4	4,61
	Прямая	6,54	17,3	25,8	49,6	1,60
	Рассеянная	26,9	27,3	38,6	92,8	2,99
Февраль	Суммарная	60,1	67,9	87,1	215,1	8,13
	Прямая	13,3	51,0	30,5	94,8	3,27
	Рассеянная	46,8	36,9	56,6	140,0	4,86
Март	Суммарная	135,0	141,0	120,0	395,5	12,70
	Прямая	64,9	57,0	28,2	148,0	4,80
	Рассеянная	69,9	83,5	91,9	245,0	7,90
Апрель	Суммарная	111,0	109,0	192,0	412,0	13,00
	Прямая	38,0	48,0	126,0	212,0	7,00
	Рассеянная	73,0	61,0	66,0	200,0	6,00
Май	Суммарная	203,0	236,0	239,0	678,0	21,90
	Прямая	130,0	152,0	125,0	407,0	13,10
	Рассеянная	73,0	84,0	114,0	272,0	8,80
Июнь	Суммарная	214,0	203,0	223,0	640,0	21,30
	Прямая	129,0	97,0	123,0	349,0	11,60
	Рассеянная	85,0	106,0	100,0	289,0	9,70
Июль	Суммарная	220,0	186,0	241,0	647,0	20,00
	Прямая	127,0	103,0	155,0	385,0	12,00
	Рассеянная	93,0	83,0	86,0	261,0	8,50
Август	Суммарная	178,0	191,0	187,0	556,0	17,90
	Прямая	103,0	121,0	103,0	306,0	9,90
	Рассеянная	75,0	70,0	84,0	249,0	8,00
Сентябрь	Суммарная	134,0	112,0	125,0	371,0	12,30
	Прямая	61,0	46,0	69,0	175,0	5,80
	Рассеянная	73,0	66,0	56,0	195,0	6,50
Октябрь	Суммарная	76,8	77,9	71,6	226,3	7,29
	Прямая	31,8	33,9	39,5	105,0	3,39
	Рассеянная	45,0	44,0	32,1	121,0	3,90
Ноябрь	Суммарная	47,0	51,7	39,3	138,0	4,60
	Прямая	14,2	18,7	10,7	43,7	1,46
	Рассеянная	32,8	33,0	28,6	94,3	3,14
Декабрь	Суммарная	25,8	33,4	42,0	101,2	3,26
	Прямая	2,5	7,5	15,6	25,7	0,83
	Рассеянная	23,3	25,9	26,4	75,3	2,43
Годовая		1438,1	1453	1631,4	4522,5	294,46



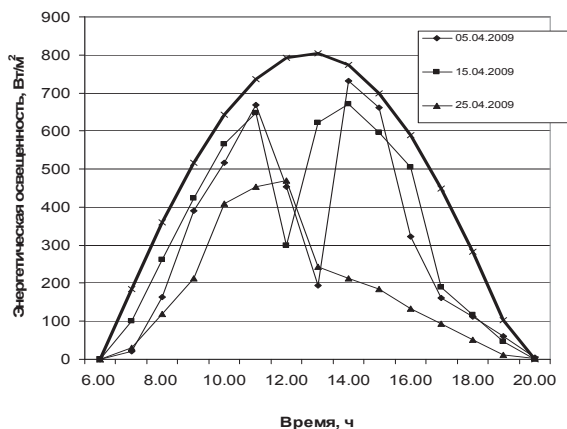
**Рис. 1.** Внешний вид лабораторной установки

Проанализируем интенсивность энергетической освещенности, полученную экспериментальным путем.

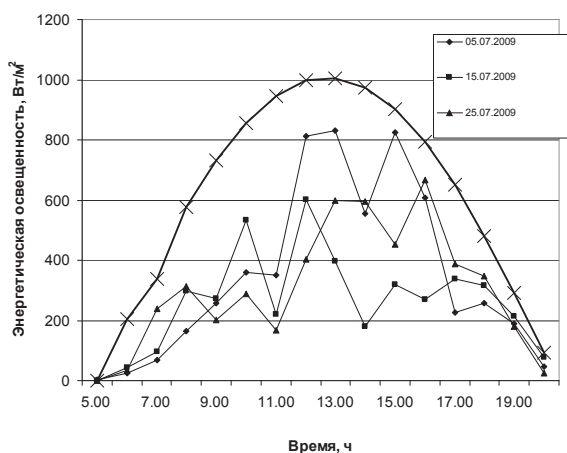
Максимальная суммарная плотность солнечного излучения в январе – 269 Вт/м<sup>2</sup> (рис. 2). Провалы графиков не наблюдаются. Экспериментальные данные плотности солнечного излучения превышают данные актинометрических наблюдений для 05.01.09 г. на 30 %, 15.01.09 г. – на 40 %, 25.01.09 г. – на 50 %.



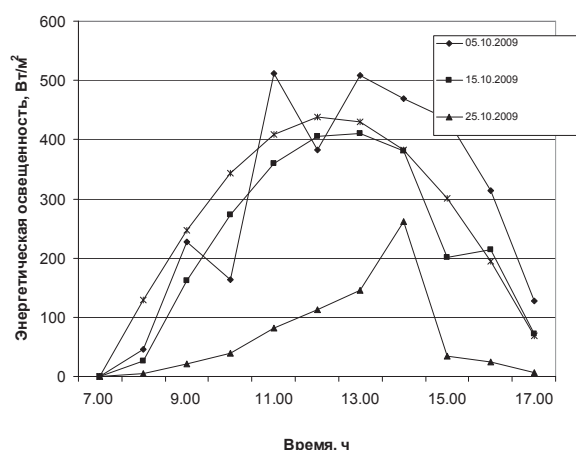
**Рис. 2.** Изменение значений плотности солнечного излучения на горизонтальную поверхность для января 2009 г.



**Рис. 3.** Изменение значений плотности солнечного излучения на горизонтальную поверхность для апреля 2009 г.



**Рис. 4.** Изменение значений плотности солнечного излучения на горизонтальную поверхность для июля 2009 г.



**Рис. 5.** Изменение значений плотности солнечного излучения на горизонтальную поверхность для октября 2009 г.

Максимальная суммарная плотность солнечного излучения в апреле —  $710 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 3). Наблюдаются провалы графика с 12 до 13 ч из-за облачности до  $200 \text{ Вт/м}^2$ . В момент провалов графиков прямая составляющая солнечной радиации значительно уменьшается 05.04.09 г. на 60 %, для 15.04.09 г. — на 40 %, для 25.04.09 г. — на 50 %. В период с 6 до 8 часов экспериментальные данные прямой солнечной радиации по отношению к данным актинометрических наблюдений занижены на 50 %. Однако надо отметить, что с 9 до 12 ч дня плотность солнечного излучения увеличивается на 30 %. 25.04.09 г. плотность солнечного излучения после 12 ч дня падает на 50 %, а 5 и 15 июля увеличивается на 40 %. Это соответствует отсутствию прямой составляющей солнечной радиации, что приводит к значительному снижению производительности солнечных установок.

Максимальное значение плотности солнечного излучения в июле —  $820 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 4). Во все дни наблюдений в период с 5 до 12 ч плотность солнечного излучения уменьшается на 40...60 %, а 15.07.09 г. уменьшение продолжается до 17 ч. В остальные дни после 12 ч плотность солнечного

излучения превышает от 10 до 30 % по отношению к актинометрическим данным.

Для октября (рис. 5) максимальное значение энергетической освещенности составляет  $511 \text{ Вт/м}^2$ . 05.10.09 г. наблюдается провал графика в 10 ч, но не ниже значения актинометрических наблюдений, с 11 до 18 ч превышает на 100 %, а 15.10.09 г. превышает на 70 %. 25.10.09 г. график занижен на 50 %, и только в 14.30 ч заметен подъем графика до значений актинометрических наблюдений.

#### Выводы

1. Исследовано сезонное поступление солнечной радиации на территории Северного Казахстана.
2. Установлено, что сезонные графики поступления солнечной радиации с учетом облачности показывают превышение относительно значений актинометрических наблюдений от 10 до 100 %.
3. В качестве исходных данных при выполнении гелиоэнергетических расчетов необходимо использовать актинометрические данные при средних условиях облачности, которые приводятся в метеорологических ежемесячниках.
4. Различие в поступающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность при условиях облачности между Северным и Южным регионами достигает 20 %.
5. Происходит сезонное изменение состава солнечной радиации (в осенне-зимний период составляющая равна примерной рассеянной, и в весенне-летний период прямая радиация составляет до 65 % суммарной).
6. Разница между солнечной радиацией при различных условиях облачности увеличивается в соответствии с широтой с 13 до 28 %.
7. Экспериментальные графики дают более точную информацию о суммарной солнечной радиации в течение суток.
8. Сезонные графики, даже с учетом провалов графиков во время облачности, показывают превышение относительно значений актинометрических наблюдений от 10 до 100 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / под общ. ред. П.П. Безруких. — СПб.: Наука, 2002. — 314 с.
2. Дроздов О.А. Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др. Климатология. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 365 с.
3. Тлеуова А.А. Определение потенциальных гелиоресурсов Акмолинской области // Сейфуллинские чтения-1: Тез. докл. Республ. научно-теор. конф. — Астана, 2005. — С. 36–39.

Поступила 20.01.2011 г.