

СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ СУТОЧНОГО И СЕЗОННОГО ВРЕМЕННОГО ДИАПАЗОНА ПРОДУКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Осадчий Г.Б., инженер

Человеческий ум едва ли может оставаться совершенно свободным от предубеждений, и решающие, установившиеся мнения **часто** создаются, прежде чем было сделано основательное исследование предмета во всех его аспектах. Сказанное относится и к господствующему заблуждению, которое, с одной стороны, ограничивает применение энергии Солнца, а в другой — смешивает в одну «кучу» технологии применения его энергии для энергоснабжения. Трудно предположить себе нечто столь ошибочное, нежели это. Это дало поверхностным исследователям обрести сильное оружие против солнечной энергетики.

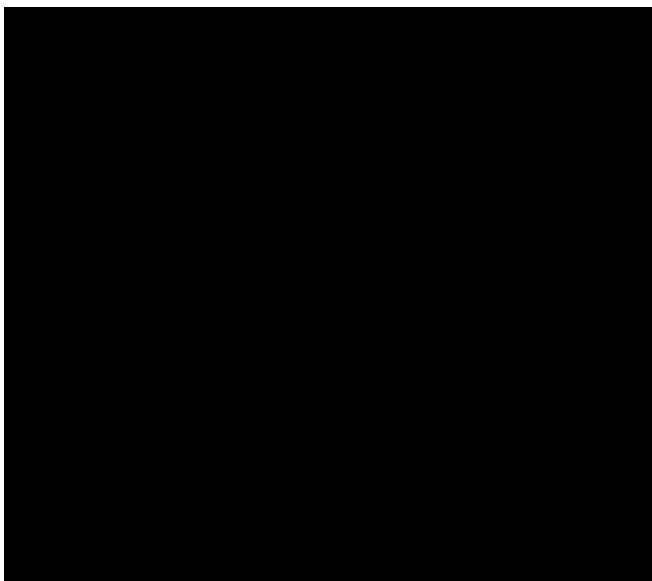
Попробуем разобраться в этом вопросе, несмотря на присущие энергии Солнца внешние проявления.

Солнечная энергия характеризуется двумя особенностями, ограничивающими её широкое применение в средней полосе России. Это непостоянство во времени и низкая плотность энергетического потока.

Если на первый её недостаток мы влиять не можем, т.к. постоянно разгонять тучи выйдет себе дороже, то второй можно нивелировать, либо за счет размещения установок и систем солнечной энергетики как можно выше над уровнем моря, либо за счет использования концентраторов солнечного излучения.

Плотность потока солнечного излучения на различных высотах над уровнем моря и от высоты Солнца представлена на рисунке 1 [1].

Степень уменьшения плотности потока солнечного излучения за счет



атмосферного поглощения зависит частично от длины пути через атмосферу, частично от состояния воздушной массы (облачности, запыленности). При малой высоте Солнца плотность потока солнечного излучения мала. Когда Солнце находится в зените, плотность потока излучения, измененная на горизонтальной поверхности, может превышать 1 кВт/м^2 (на уровне моря для средней полосы России $0,9 \text{ кВт/м}^2$).

Рисунок 1 – Изменение плотности потока прямого солнечного излучения в зависимости от высоты местности над уровнем моря и высоты Солнца

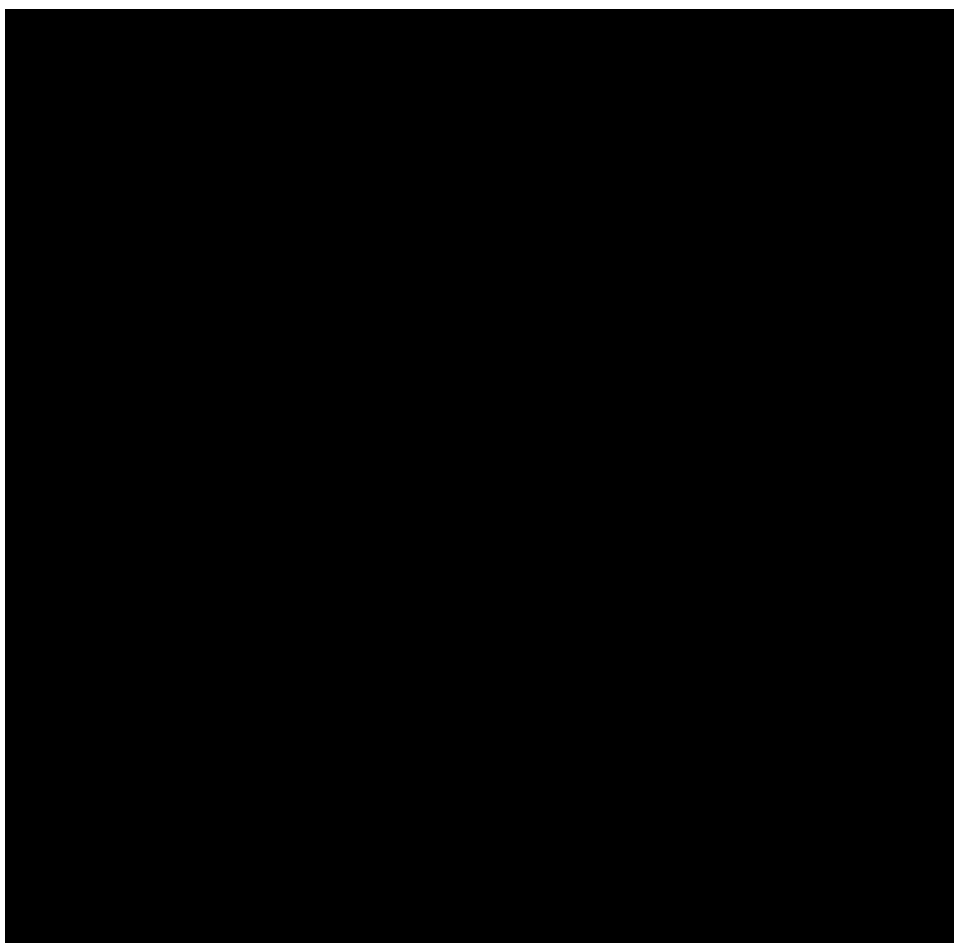
В мировой практике принято, что прямое солнечное излучение для солнечных установок летом наиболее «продуктивно» с 8 – 9 ч до 15 – 16 ч.

Это утверждение в полной мере относится и к средней полосе России, несмотря на то, что продолжительность светового дня у нас около 17 часов, а на экваторе и в тропиках 12 – 13 часов. Дело в том, что у нас, в частности в Омской области, Солнце летом встает и садится медленно, долго пребывая на малой высоте. Максимальное время подъема Солнца с 10 до 20° на экваторе, в тропиках и в Омске 21 июня составляет 45, 46 минут и 1 час 14 минут соответственно. Следовательно, в Омске ранним утром (вечером) Солнце поднимается (садится) в 1,64 раза медленнее, чем на экваторе.

При низких высотах Солнца способность аккумулирования солнечного излучения солнечными соляными прудами без концентраторов низкая.

Учитывая все это, для высоких географических широт предложен и исследован, концентратор, способный наклоняться к принимающей излучение поверхности, для нашего случая к солнечному соляному пруду [2] (рисунок 2).

При использовании следящего привода, обеспечивающего в течение дня ориентацию отражающей поверхности концентратора, близкую к



перпендикуляру горизонтальной проекции падающего солнечного луча, можно оптимизировать поступление отраженного солнечного излучения в пруд. Конечно, это требует определенной высоты концентратора и механизмов наклона его отражающих элементов.

**Рисунок 2 –
Конструктивная**

схема концентрации солнечной энергии в солнечный соляной пруд концентратором солнечной энергии за счет слежения за движением Солнца по небосводу.

Приведенная на рисунке 2 конструктивная схема концентрации солнечного излучения является универсальной для высоких широт, т.к. не требуется рядом стоящего здания с отражающими панелями, ориентированными на юг, и как минимум двух концентраторов (восточного и западного).

Результаты проведенных расчетов показывают, что за счет наклона концентратора на $10 - 15^\circ$ максимальный коэффициент концентрации солнечного излучения (при высоте концентратора 6 метров) в пруд диаметром 10 м (2 **Р**) достигает **5,0** при высоте Солнца 10° . При высоте Солнца 15° он составляет — 3,3, и 2,6 — при высоте Солнца 19° .

При больших высотах Солнца коэффициент концентрации снижается до 2^x и менее, из-за того что уменьшается длина покрытия пруда отраженным солнечным излучением.

Ранней весной и поздней осенью на вертикальную поверхность, ориентированную в Омской области на юг приходит больше солнечной энергии, чем на восточную и западную вертикальные поверхности, поэтому это техническое решение по концентрации солнечного излучения и для этих времен года перспективно.

Использование концентратора имеет преимущества и для местностей с перепадами высот. Для таких местностей, приход прямого солнечного излучения, например, на южный склон, по сравнению с горизонтальной поверхностью раньше переходит через ноль вечером и запаздывает утром в среднем на 25 – 40 минут (для склона с уклоном 30°). А значит, аналогично будет затеняться и водная гладь пруда, в том числе при наличии неподвижных концентраторов — южных ограждающих конструкций зданий.

Весной и осенью, когда температура воздуха ниже $+10 - 15^\circ\text{C}$, всегда будет вставать вопрос о том: чему отдать предпочтение — пассивному обогреву здания солнечным излучением через соответствующие окна или это излучение направлять в пруд. Поскольку схема концентрации по рисунку 2 не связана с южной стеной здания, то с этой точки зрения она имеет предпочтение.

При использовании данного концентратора в составе солнечного соляного пруда для выработки холода и горячего теплоснабжения компоновка должна быть такой, чтобы работа двигателя Стирлинга осуществлялась за счет теплоты центральной части пруда, где температура будет наибольшей, а теплообменники системы горячего водоснабжения были бы расположены на периферии пруда у боковых стенок [2].

Выбор той или иной схемы концентрации зависит от многих факторов. За полярным кругом, когда летом Солнце сутками не садится за горизонт, концентрация по рисунку 2 наиболее эффективная.

Для оценки эффективности концентратора принимаем, для г. Омска, за критерий **продуктивного** использования энергии Солнца — величину

потока солнечной энергии вступающего в воду пруда диаметром 10 м 21 июня в 8 часов утра при чистой атмосфере.

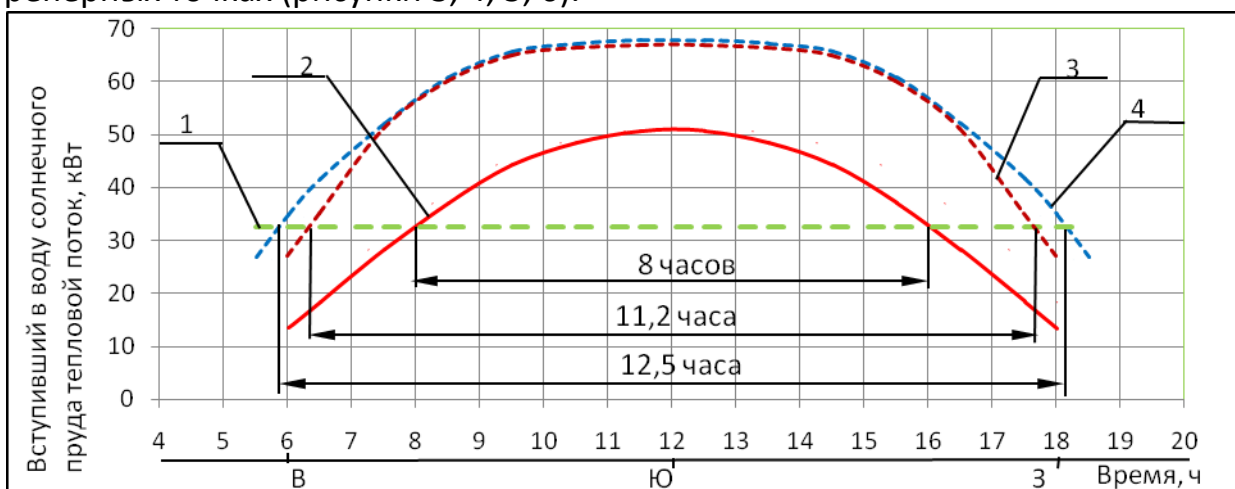
Для пруда диаметром 10 м величина этого потока солнечной энергии составляет 32 кВт. Или 400 Вт/м².

При чистом небе было определено поступление в пруд прямого и отраженного прямого солнечного излучения от концентратора (рисунок 2) с размерами в вертикальном положении 6×8 м. Расчетное время с 6 до 12 часов, условно принимая, что приход солнечной энергии до полудня и после полудня одинаков.

Оценочный расчет был проведен при условии, что обеспечивается синхронная ориентация отражающей поверхности концентратора «перпендикулярно» горизонтальной проекции падающего солнечного луча в течение расчетного периода. Угол наклона концентратора 4 (рисунок 2) к пруду принимался такой, который, при его высоте 6 метров, обеспечивает направление всего отраженного солнечного излучения в пруд, без покрытия им прилегающей к пруду местности (длина покрытия пруда отраженным солнечным излучением $L_n \leq 2 R$).

Как показали расчеты; применение наклонного концентратора солнечного излучения с избытком компенсирует низкую инсоляцию весной и осенью в средней полосе России. Без учета того, что для малых прудов потери теплоты через дно и боковые стенки могут быть снижены надлежащей теплоизоляцией.

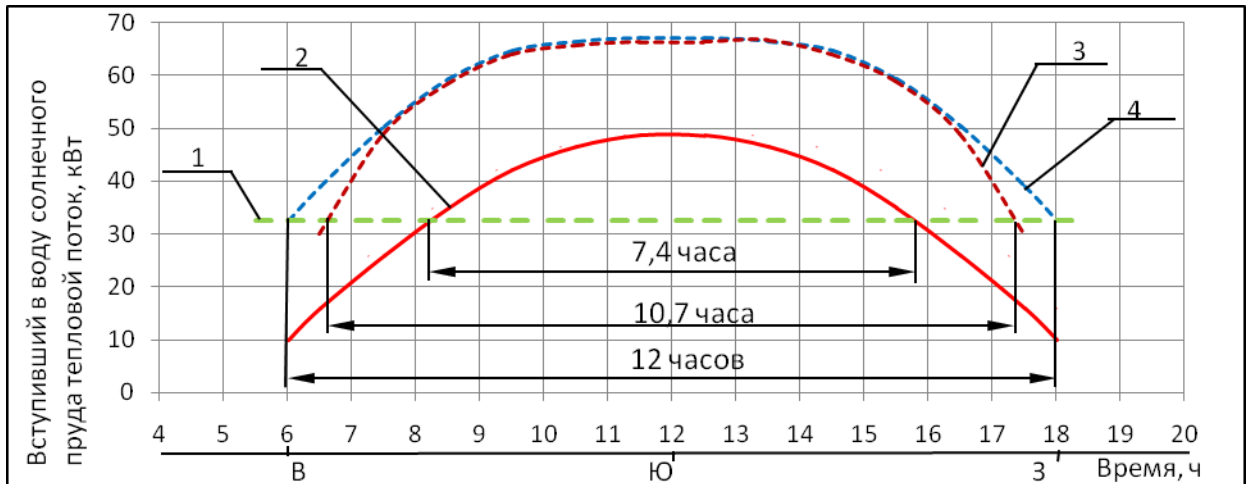
По результатам расчетов ниже приведены графические зависимости потоков: прямого солнечного излучения; прямого и отраженного от перпендикулярного земле концентратора, размерами 8 м в ширину и 6 м в высоту, солнечного излучения; прямого и отраженного от наклонного концентратора размерами 8 м в ширину и 6 м в высоту, солнечного излучения, вступающих в воду солнечного соляного пруда диаметром 10 м в реперных точках (рисунки 3, 4, 5, 6).



1 – критерий продуктивного использования энергии Солнца; 2 – поток прямого солнечного излучения; 3 – суммарный поток прямого и отраженного от перпендикулярного земле концентратора солнечного излучения; 4 – суммарный поток

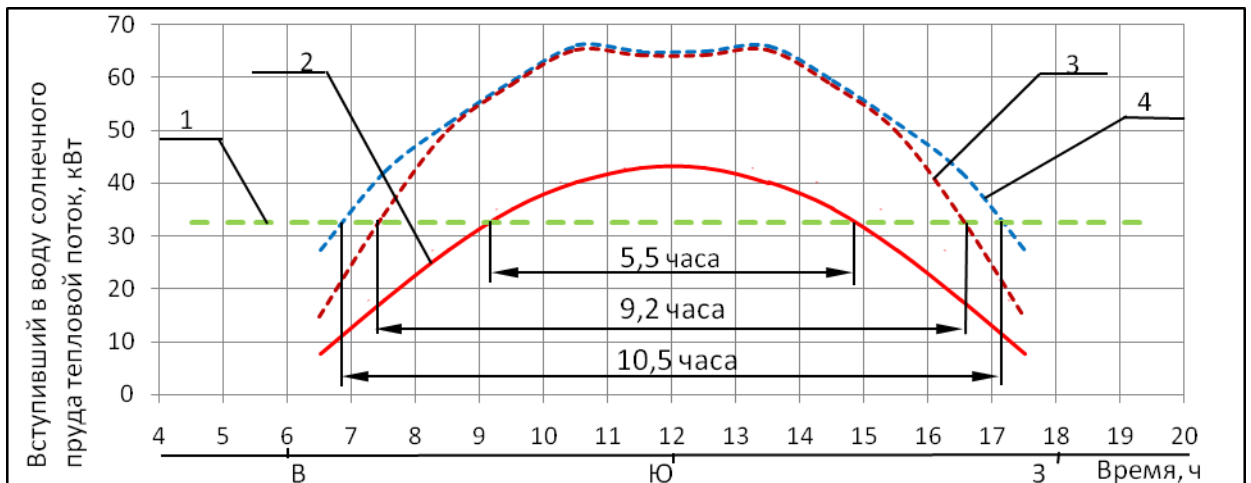
прямого и отраженного от наклонного концентратора солнечного излучения; в часах указано время продуктивного использования энергии Солнца

Рисунок 3 – Дневные значения вступающего в воду пруда прямого и отраженного солнечного излучения и продолжительность продуктивного использования энергии солнца в г. Омске 21 июня при чистой атмосфере



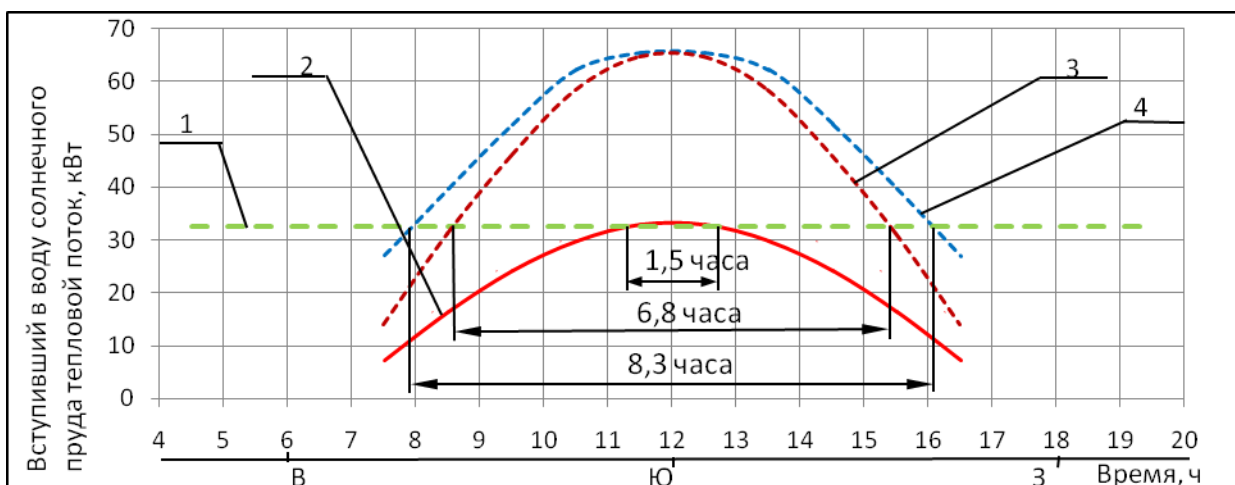
1 – критерий продуктивного использования энергии Солнца; 2 – поток прямого солнечного излучения; 3 – суммарный поток прямого и отраженного от перпендикулярного земле концентратора солнечного излучения; 4 – суммарный поток прямого и отраженного от наклонного концентратора солнечного излучения; в часах указано время продуктивного использования энергии Солнца

Рисунок 4 – Дневные значения вступающего в воду пруда прямого и отраженного солнечного излучения и продолжительность продуктивного использования энергии солнца в г. Омске 21 мая и 21 июля при чистой атмосфере



1 – критерий продуктивного использования энергии Солнца; 2 – поток прямого солнечного излучения; 3 – суммарный поток прямого и отраженного от перпендикулярного земле концентратора солнечного излучения; 4 – суммарный поток прямого и отраженного от наклонного концентратора солнечного излучения; в часах указано время продуктивного использования энергии Солнца

Рисунок 5 – Дневные значения вступающего в воду пруда прямого и отраженного солнечного излучения и продолжительность продуктивного использования энергии солнца в г. Омске 21 апреля и 21 августа при чистой атмосфере



1 – критерий продуктивного использования энергии Солнца; 2 – поток прямого солнечного излучения; 3 – суммарный поток прямого и отраженного от перпендикулярного земле концентратора солнечного излучения; 4 – суммарный поток прямого и отраженного от наклонного концентратора солнечного излучения; в часах указано время продуктивного использования энергии Солнца

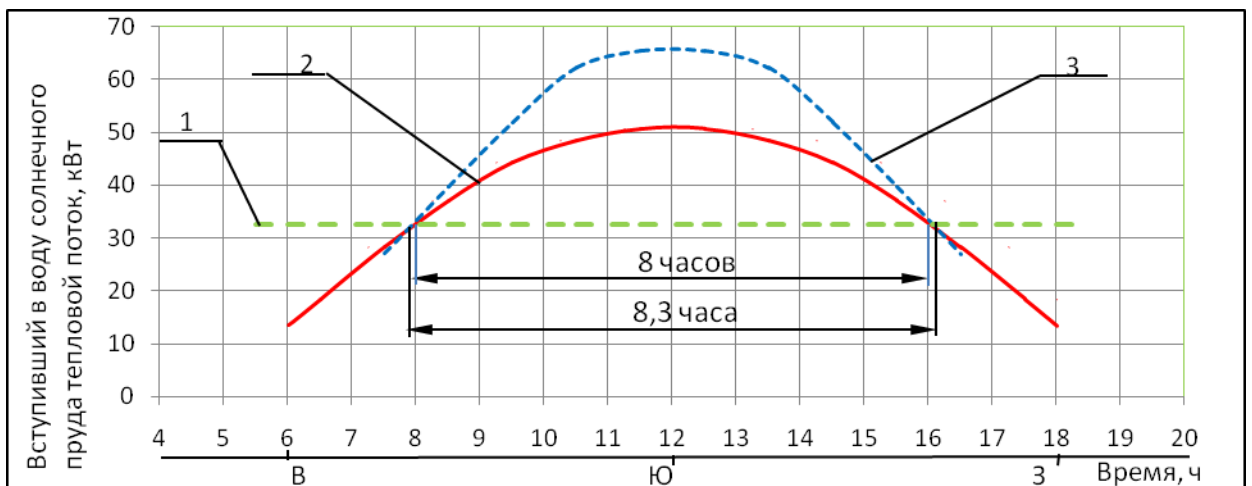
Рисунок 6 – Дневные значения вступающего в воду пруда прямого и отраженного солнечного излучения и продолжительность продуктивного использования энергии солнца в г. Омске 21 сентября при чистой атмосфере

Полученные значения продолжительности продуктивного использования энергии Солнца (рисунки 3 – 6) сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сводная таблица продолжительности продуктивного использования солнечной энергии солнечным прудом в летний период в г. Омске.

Вид потока солнечного излучения, вступающего в воду солнечного соляного пруда	21 июня	21 мая (21 июля)	21 апреля (21 августа)	21 марта (21 сентября)
	Продолжительность продуктивного использования энергии Солнца, ч			
Прямое солнечное излучение	8	7,4	5,5	1,5
Прямое и отраженное от перпендикулярного земле концентратора солнечное излучение	11,2	10,7	9,2	6,8
Прямое и отраженное от наклонного концентратора солнечное излучение	12,5	12	10,5	8,3

На основании результатов проведенного исследования (таблица 1) видно, что предложенный концентратор солнечной энергии является для солнечного соляного пруда действенным способом (инструментом) расширения времени продуктивного использования энергии Солнца, особенно при низких высотах Солнца в высоких географических широтах (рисунок 7).



1 – критерий продуктивного использования энергии Солнца; 2 – поток прямого солнечного излучения 21 июня; 3 – суммарный поток прямого и отраженного от наклонного концентратора солнечного излучения 21 марта (21 сентября); в часах указано время продуктивного использования энергии Солнца

Рисунок 7 – Дневные значения вступаящего в воду пруда прямого (21 июня) и прямого и отраженного солнечного излучения (21 марта(сентября) и продолжительность продуктивного использования энергии солнца в г. Омске и при чистой атмосфере

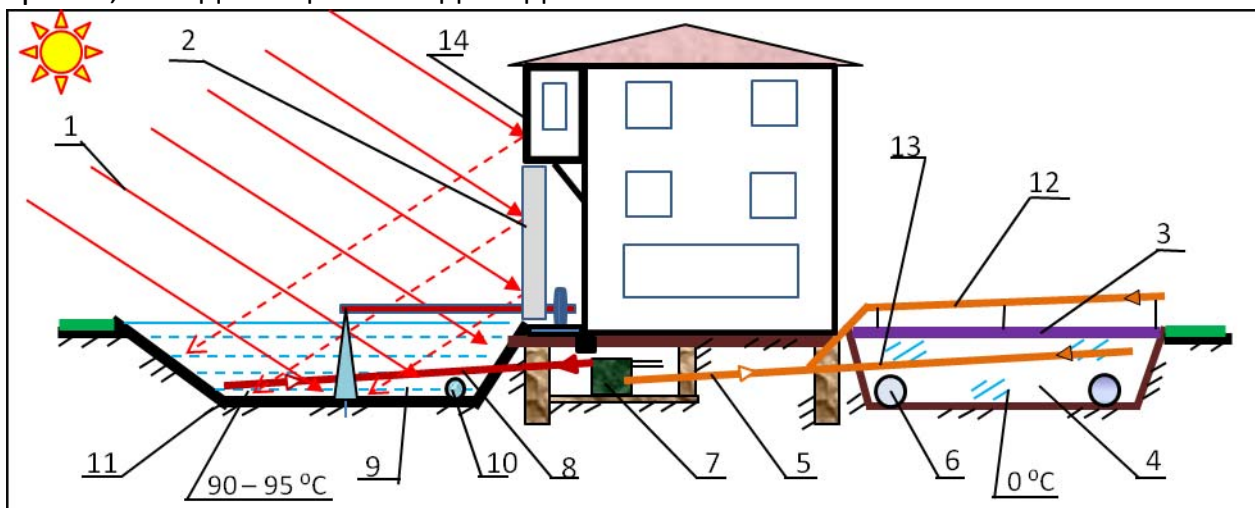
Применение наклонного концентратора позволяет ранней весной быстрее осуществлять прогрев пруда, а осенью запастись больше солнечной энергии для зимнего периода, **даже в том случае если солнечный соляной пруд покрыт корочкой льда.**

Пруды промышленной энергетики (площадью от 1 га до 0,75 км²) в низких широтах имеют КПД примерно 25 %. То есть из каждых 100 Дж прямого и рассеянного солнечного излучения, поступающего на единицу площади пруда, 75 Дж рассеивается в атмосферу. У них при эффективном коэффициенте поглощения солнечного излучения придонным слоем пруда равном 0,7, коэффициенте пропускания солнечного излучения верхним и изолирующим слоями воды, находящимися над придонным слоем, равном 0,7, рассолом придонного слоя аккумулируется примерно 50 Дж.

При этом из них 25 Дж теряется из-за теплопроводности через изолирующий слой воды и дно грунта, и только 25 Дж используется для преобразования. Если же за счет прямого, рассеянного и отраженного прямого и рассеянного солнечного излучения, в высоких широтах, на единицу площади пруда будет поступать 200 Дж солнечного излучения (коэффициент концентрации 2). Если из этих 200 Дж, половина, 100 Дж не «дойдет» до придонного слоя, за счет указанных выше коэффициентов поглощения и пропускания. А 25 Дж «потеряется» из-за тепловых потерь через изолирующий слой воды и дно грунта, то использоваться для преобразования будет уже 75 Дж. Это в 3 раза больше. КПД пруда в этом случае повышается до 37,5 %. Т.е. КПД пруда становится в 1,5 раза выше, чем при поступлении только прямого и рассеянного излучения в большой пруд.

Для увеличения поступления в пруд солнечного излучения в полуденные часы, когда высота Солнца наибольшая (май, июнь, июль), без затенения акватории пруда ранним утром и поздним вечером, когда высоты Солнца незначительны, можно, использовать в качестве отражателя выступающие «чердачные» части здания, снабженные отражателем полуденного солнечного излучения, в соответствии с рисунком 8.

Поскольку предлагаемая индивидуальная электростанция на базе солнечного соляного пруда (гелиоэлектростанция) подробно описана в работе [2], то остановимся на её конструктивной схеме и принципе работе кратко, исходя из цели и задачи данной статьи.



1 – солнечное излучение; 2 – концентратор солнечного излучения; 3 – покрытие теплоизоляционное; 4 – котлован, заполненный льдом; 5, 8 – тепловая гравитационная труба (термосифон); 6 – воздуховод; 7 – электростанция; 9 – солнечный соляной пруд; 10 – воздуховод; 11 – грунт; 12 – охлаждаемая часть тепловой гравитационной трубы 5, размещенная на воздухе – ограждение котлована по периметру; 13 – охлаждаемая часть тепловой гравитационной трубы 5, размещенная во льду/воде котлована 4; 14 – отражатель полуденного солнечного излучения.

Рисунок 8 – Конструктивная схема гелиоэлектростанции

Предлагаемая установка (система) работает от солнечной энергии 1, запасенной солнечным соляным прудом 9. Теплота из пруда по тепловой трубе 8 поступает к электростанции 7, где в термодинамических циклах преобразуется вначале в энергию потока масла, затем в механическую и далее электрическую энергию. Не использованная в циклах теплота по другой тепловой трубе 5 отводится в котлован со льдом 4, вызывая его таяние. Преобразование солнечной энергии в энергию потока масла осуществляется двигателем Стирлинга с масляным насосом.

Концентратор 2 постоянно, за счет поворота вокруг центральной опоры (поз. 5 рисунок 2), увеличивает поступление солнечной энергии в пруд. При больших высотах Солнца (май, июнь, июль) в полуденное время, когда 6^{-ти} метровой высоты концентратора 2 будет не хватать, отражатель 14

будет обеспечивать дополнительное поступление в пруд солнечного излучения.

Другие области применения наклонного концентратора солнечной энергии.

Предложенная технология концентрации солнечной энергии может быть использована при эксплуатации плоских солнечных коллекторов и фотоэлектрических преобразователей, которые надо будет, в отличие от традиционной ориентации в пространстве, располагать горизонтально. Так, чтобы концентратор мог менять свое положение, также как при его эксплуатации с солнечным соляным прудом, используя при этом «чердачные» части здания для дополнительной концентрации энергии в полуденные часы.

Если небо облачное, то вода (теплоноситель) в плоском солнечном коллекторе, когда Солнце «выходит» из-за туч на непродолжительное время не всегда успеет нагреться до рабочей температуры. Поэтому когда Солнце «заходит» за тучу, теплоноситель остывает, без аккумуляирования теплоты, например, водяным баком-аккумулятором. При определенной периодичности чередования солнечных и пасмурных периодов в течение дня аккумулятор может и не восполнить запас теплоты. Применение концентратора обеспечит ускоренный выход на рабочий режим, что будет способствовать повышению эффективности работы плоского солнечного коллектора в целом, особенно при низких высотах Солнца.

В высоких географических широтах за счет оптимальных форм концентратора солнечного излучения и отражателя полуденного солнечного излучения можно добиться эффективного аккумуляирования солнечной энергии в течение всего летнего периода.

Предлагаемый концентратор может найти эффективное применение в России при использовании солнечной энергии для локальных систем водоснабжения, электроснабжения, холодотеплоснабжения, для солнечной бани и печи, для биогазовой установки и сушки материалов и сырья и т.д. [2].

Список литературы

1 С. Зоколей. Солнечная энергия и строительство. М.: Стройиздат, 1979. 208 с.

2 Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ). Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.

Автор: Осадчий Геннадий Борисович, инженер, автор 140 изобретений СССР
Тел дом. (3812)60-50-84, моб. 8(962)0434819,

E-mail: genboosad@mail.ru

Для писем: 644053, Омск-53, ул. Магистральная, 60, кв.17.