

Осадчий Геннадий Борисович

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ
УСТАНОВОК И СИСТЕМ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
НА БАЗЕ СОЛНЕЧНОГО СОЛЯНОГО ПРУДА
(*Введение в проект «Альтернативная энергетика»*)

Омск
2012

Часть I

Введение

Часто встает вопрос, насколько важно экономить энергоресурсы в России.

Однозначного ответа на это нет, но согласно [Энергосбережение и энергоэффективность // Коммунальные системы 2010. № 4. С. 18 – 19] «цена» вопроса следующая:

- если в вашей структуре затрат они занимают не более 5 – 7 %, особо заниматься этим не стоит. Основные (малозатратные) мероприятия принесут вам определенную экономию и душевное спокойствие;

- если энергоресурсы занимают до 15 – 20 % в структуре затрат — относится к энергосбережению нужно уже серьезно. Нужно провести качественный аудит и плотно заниматься проблемой;

- если вы в затратах более 20 – 30 % платите за энергоресурсы — вам **срочно** нужно заняться этой проблемой, поскольку при очередном росте цен на газ, электроэнергию, топливо и т.д. в начале следующего года, в его завершении вы рискуете остаться без прибыли. **А то и с убытками...**

Однако структура затрат в России определяет не все.

Так в Самаре, власти которой **потратили 800 млн рублей на установку узлов учета, целыми в итоге остались лишь 10 % приборов**. Понятно, что выводили их из строя заинтересованные «лица».

Энергосбережение за счет утепление существующих домов в России не всегда оправдано. При нынешнем соотношении цен на топливо и стройматериалы, наши температурные условия и банковские проценты, утепление стен будет окупаться от 40 до 120 лет. И ключевым фактором оказываются не цены, а **банковская ставка!** И только когда банковская ставка понижается ниже 8 % годовых, резко возрастает роль цены топлива.

И, тем не менее, движение на **смену парадигмы экономики** – образа её структуры и функционирования в России началось.

В мае 2010 г. Президентом России подписан указ «Об оценке, эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности». В соответствии с указом, со второй половины 2010 года для оценки, эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов РФ вводится ряд дополнительных **показателей**. В частности — **доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в общем объеме энергетических ресурсов, производимых на территории субъекта РФ** (показатели определяются актами Правительства РФ).

Отныне показатели энергоэффективности вошли в состав списка, по которому, отчитываются о своей работе губернаторы и главы муниципальных образований.

Этот указ наглядно подтверждает, что у нас — один путь: необходимо (и как можно быстрее) наряду с активным энергосбережением развивать энергетику ВИЭ (сегодня нетрадиционную), энергетику на базе огромного потенциала ВИЭ. Преимущества этого направления: их запасы способны обеспечить устойчивое развитие отечественной энергетики на сколь угодно длительный срок; удельная стоимость энергии для многих альтернативных энергетических технологий уже сравнялась с аналогичными, характеристиками традиционных, и прогнозируется их существенное снижение; тарифы на энергию при этом не растут, а наоборот, могут снижаться со временем; сроки окупаемости строительства альтернативных электростанций в большинстве случаев меньше благодаря отсутствию затрат на топливо и транспорт; экономический эффект только от замещения 1 %

потребляемого сегодня топлива составит минимум 1 млрд \$. Недостаток у альтернативных энергетических технологий практически один — **малая освоенность**.

Политика энергосбережения позволит выиграть время, необходимое для выработки энергоэкономичных путей развития. Сейчас применение большинства ВИЭ дорого, но, используя научно-технические достижения, можно добиться того, что они будут давать столько дешевой первичной энергии, сколько потребуется планете.

Представляется совершенно очевидным, что для полной оценки энергоэффективности экономики не только страны, но и **региона** необходимо в комплексе рассматривать три общеэкономических показателя и **один конкретный показатель**.

К первым относятся:

- удельная энергоёмкость ВВП по паритету покупательной способности национальной валюты (т у.т./1000 руб. в год);
- душевое потребление первичной энергии (т у.т./чел. в год);
- душевое потребление электрической энергии (кВт·ч/чел. в год).

Четвертый показатель — доля ВИЭ в производстве электрической энергии и потреблении (отпуске) тепловой энергии.

Если первые три показателя являются признанными международным сообществом, то четвертый показатель (доля ВИЭ) находится на стадии признания за рубежом и пока ещё даже не рассматривается всеми властными структурами России.

Актуальность использования возобновляемых источников энергии для энергосбережения в Омской области

В Омской области добыча топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) ведется в незначительных объемах, хотя начальные суммарные извлекаемые ресурсы нефти и газа оцениваются в 70 млн т и 755 млрд м³, соответственно [Мастепанов А.М. Экономика и энергетика регионов Российской Федерации М.: Экономика, 2001. 476 с].

Из-за этого область испытывает острый дефицит ТЭР (таблица 1), тормозящий её развитию, в том числе из-за отсутствия действенной программы по энергосбережению.

Таблица 1 – Потребление и производство ТЭР в Омской области в 1999 г.

	Электроэнергия, млн кВт·ч	Газ, млн м ³	Уголь, тыс. т
Потребление	8860	1520	5134
Производство	5945	–	–

Развитие энергосбережения в регионе — требование времени, поскольку в нашем федеральном округе огромный отрицательный баланс по природному газу (табл. 2).

Таблица 2 – Производство и потребление газа в Сибирском федеральном округе в 1999 г., млн м³

Производство	Внутреннее потребление	Сальдо
1106	11898	– 10792

Округ находится практически в полной зависимости от поставок газа, центр добычи которого медленно, но неотвратимо перемещается на Ямал. Такая обеспеченность ТЭР, конечно же, самым непредсказуемым образом отражается на надежности и стоимости энергообеспечения, особенно рассредоточенных потребителей энергии.

Стоимость энергии и затрат на энергообеспечение в удаленных муниципальных образованиях складывается из следующих факторов: структуры формирования себестоимости и тарифов на электроэнергию; пространственного распределения электропотребления; тепловой защиты зданий; «перетоков» (таблица 3, рисунок 1 и таблицы 4, 5).

Структура формирования себестоимости и тарифов на централизованную электроэнергию такова, что если принять себестоимость производства и распределения электроэнергии за 100 %, то её составляющие по ступеням образования будут следующие (таблица 3).

Таблица 3 – Структура формирования себестоимости и тарифов на электроэнергию [Паршуков Н.П., Лебедев В.М. Источники и системы теплоснабжения города. Омск, Омская областная типография, 1999. 168 с]

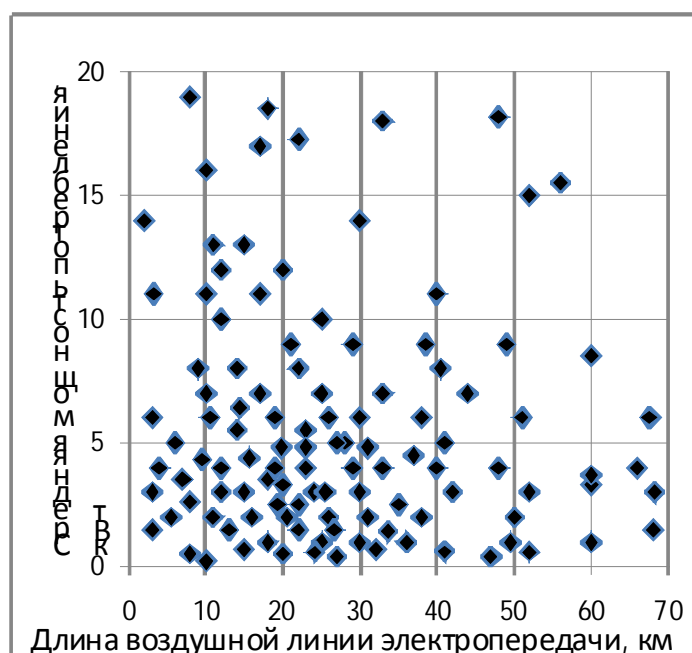
Номер ступени	Формирование себестоимости по ступеням её образования	Доля, %
1	Выработка электроэнергии базовыми электростанциями	27
2	Транспорт электроэнергии по системообразующим ЛЭП	6
3	Транспорт и распределение электроэнергии по сетям высокого напряжения	12
4	Транспорт и распределение электроэнергии по сетям среднего напряжения	17
5	Транспорт и распределение электроэнергии по сетям низкого напряжения	23
6	Технический учет и расчеты с потребителями	15
	Итого:	100

Из таблицы 3 следует, что себестоимость выработки электроэнергии электростанциями составляет всего около $\frac{1}{4}$ от полной себестоимости и это связано в основном с тем, что в России очень крупные ТЭС, ТЭЦ, ГЭС и т.д. с огромными распределяющими сетями.

Так общая протяженность сельских распределительных электрических сетей в Омской области составляет 41 тыс. км (2009 г.). Общее количество потребителей электроэнергии 775 тыс. Численность обслуживающего персонала около 2,5 тысячи человек.

В регионе имеется по несколько сотен поселений с населением не более 250 человек. Существующая система их электроснабжения выполнена, как правило, на основе радиальных не зарезервированных цепей 6/10 кВ и ненадежна, что приводит к повышенным затратам материальных и трудовых ресурсов на её эксплуатацию. Длина воздушных линий электропередачи составляет несколько десятков километров (рисунок 1), а среднегодовая нагрузка понижающих трансформаторов — 3 – 4 % **установленной мощности**.

Фактические потери электроэнергии в таких сетях **соизмеримы** с полезным потреблением. В настоящее время повышенные затраты на электроснабжение этих поселений покрываются за счет их **перекрестного субсидирования** другими группами потребителей путем утверждения единого по энергосистеме тарифа на электрическую энергию для населения.



Однако такое положение с субсидированием не может оставаться сколь угодно долго, несмотря на то, что потребление электроэнергии сельскими жителями крайне мало.

Рисунок 1 – Пространственное распределение электропотребления (точками обозначены поселения) [Мещеряков В.А., Федянин В.Я. Инновационные технологии обеспечения энергией сельских потребителей, расположенных на юге Западной Сибири //Теплоэнергетика. 2009. № 6. С. 64 – 68]

Также важным обстоятельством, ведущим к расточительному потреблению ТЭР на селе, это очень низкая тепловая защита сельских зданий (таблица 4), построенных в эпоху дешевых энергоносителей, что приводит к перерасходу потребляемого топлива.

Таблица 4 – Уровень теплозащиты сельских зданий

Уровень теплозащиты, кДж/(м ² ·К·сут)	260	360	460	660	1300
Доля зданий	0,08	0,19	0,48	0,18	0,07

Из-за этого удельный расход тепловой энергии на отопление в сельской местности в 2 – 5 раз превосходят современные нормативы. А ведь доставка топлива в удаленные поселения связана с повышенным расходом финансовых и материальных ресурсов.

Летом работа муниципальных котельных очень неэффективна. Коэффициент использования установленной мощности малых котельных невысок — не более 20 – 30 %. В случае отсутствия разбора горячей воды, она, остывая в теплотрассах, греет только улицу. В это период времени присутствует, так называемый летний «перетоп».

Технологические перерывы в теплоснабжении также не дешевы. Удельный расход условного топлива на растопку паровых котлов из холодного состояния (после более 12 часов простоя после останова котла продолжительность его растопки составляет 3 часа) b_p^x , кг/ГДж, определяется по формуле [Лебедев В.М. Определение технико-экономических показателей по затратным статьям тарифа на отпускаемую тепловую энергию промышленно-отопительными котельными: Учебное пособие / В.М. Лебедев, В.В. Овсянников, Ю.А.Усманов, В.Г.Воронин, Е.П.Рожкова; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 1999. 94 с.165]:

$$b_p^x = \frac{\sum n^x B_p^x t}{Q_{кв} T_p}$$

где n^x – количество растопок из холодного состояния за соответствующий период; B_p^x – расход условного топлива на одну растопку котла из холодного состояния, кг; T_p – число часов работы котла в соответствующем расчетном периоде; t – число часов работы котла в растопочном режиме, ч.

В связи с этим приведем результаты исследования Абрамовых [Абрамов Ал.А., Абрамов Ан.А. Экономическая эффективность наладки центральных котельных районных центров Омской области // Энергосбережение и энергетика Омской области. №3. 2005. С. 91 –96], в частности, данные по «перетопу» в райцентрах Омской области (таблица 5)

Таблица 5 – Данные состояния теплоснабжения от центральной котельной райцентров Омской области (масштаб цен 2005 г.)

Наименование районного центра	Продолжительность «перетопа», ч		Затраты на топливо в период «перетопа», тыс. руб.	
	Наличие горячего водоснабжения			
	есть	нет	есть	нет
Азово	5020	1294	1775	457
Называевск	4963	1146	6922	1598
Поставка	4604	1169	4057	1030
Черлак	4498	1439	6050	1935

Исходя из данных таблицы 5 летнее горячее водоснабжение, как минимум в 2 раза выше, по сравнению со стоимостью тепловой энергии, при работе котельной зимой.

Это согласуется с данными Ф.А. Поливоды [Поливода Ф.А. Оптимизация КПД системы теплоснабжения / Ф.А. Поливода // Промышленная энергетика. 2009. № 5. С. 31 – 38] для теплосетей централизованного теплоснабжения, при малом расходе теплоносителя G , когда $G \rightarrow 0$ КПД теплосети ($\eta_{т.с}$) стремится к нулю. Существует фиксированная точка минимального расхода G_{min} , в которой $\eta_{т.с} = 0$. При малой подаче воды по трубе, когда температура наружного воздуха плюсовая и разбор горячей воды мал (ночью он снижается до 5 – 10 % расчетного значения [Батухтин А.Г. Влияние протяженности тепловых сетей на ре-

жимы отпуска теплоты от ТЭЦ с учетом функционирования потребителей / А.Г. Батухтин, О.Е. Куприянов // Промышленная энергетика. 2005. № 5. С. 39 – 41]), она просто остывает, не успев дойти до потребителя (ограничение функции КПД «снизу»).

Так при наружной температуре минус 5 °С, $\eta_{т.с} = 0,9$ при плюс 8 °С $\eta_{т.с} = 0,67$. Таким образом, КПД сети снижается на 33 %.

В комбинированных системах теплоснабжения отмечается «излом» температурного графика. Это объясняется необходимостью согласно СНиП 2.04.01 – 85 иметь температуру горячей воды в местах разбора 60 °С при открытой и 50 °С при закрытой системах теплоснабжения. Происходит «перетоп» жилых помещений, поскольку температуру воды в подающем трубопроводе необходимо поддерживать равной 65 °С, а в обратном 45 °С. Уменьшается эффективности теплосети до $\eta_{т.с} = 0,535$.

Из приведенного выше вытекает, что стратегическое развитие энергосбережения Омской области необходимо связывать с широким использованием ВИЭ и вторичных ТЭР.

Предпринимаемые ранее попытки снизить себестоимость не только электроэнергетики, но и тепловой энергии за счет распределенной топливной энергетики в силу известных причин не были реализованы.

Призрачность успеха «богатых» стран впервые стала понятной после первого энергетического кризиса 1973 г. Тогда же стала очевидной и **роль энергоресурсосбережения**, как первого, и пока **единственного понятного**, условия сохранения относительно устойчивого экономического развития.

По всей видимости, используя исторический опыт и факты, аналогичные приведенным выше, руководство стран ЕС теперь рассматривает развитие энергетики ВИЭ как основу третьей технологической революции. Не зря в Европе одним из условий вступления стран Восточной Европы в ЕС является достижение доли энергетики **ВИЭ** в общем топливно-энергетическом балансе страны 8 %.

Преимущества использования солнечной энергии, и её производных в малой энергетике Омской области

Если мы обратимся к литературе, то технический потенциал части видов ВИЭ в России огромен. Потенциал, который может быть реализован на современном уровне развития техники в России составляет 4,6 млрд т у. т. Это в 5 раз больше общего энергопотребления. Если говорить о цифрах по различным видам ВИЭ, то они представлены в таблице 6 из источника [Алексеев С.В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение / С.В. Алексеев // Инновации Технологии Решения. 2006. № 3. С. 36 – 39.] и [Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт [Текст]: ч. 1 / под ред. В.П. Горелова, С.В. Журавлева, В.А. Глушец. – Омск: Иртышский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта», 2007. – 265 с. (Труды 3-й международной науч.-техн. конф., 5 – 8 июня 2007)].

Таблица 6 – Технический потенциал ВИЭ в России (Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск)

ВИЭ	Технический потенциал, млн т у. т.
Солнечная энергия	2300
Ветровая энергия	2000
Геотермальная энергия	180
Энергия малых водотоков	125
Низкопотенциальное тепло	115
Биомасса	53

Как следует из таблицы 6 для России технические потенциалы солнечной и ветровой энергии на порядок превосходят остальные виды ВИЭ.

К серьезным недостаткам этих ВИЭ, ограничивающих их широкое практическое применение, относятся **невысокая плотность энергетических потоков** и их **непостоянство во времени** и, как следствие этого, необходимость значительных затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумулирование и преобразование энергии.

Так, например, плотность потока солнечного излучения на поверхность земли в полдень ясного дня составляет всего около 1 кВт/м^2 , а его среднегодовое значение (с учетом сезонных и погодных колебаний) для самых солнечных районов земного шара не превышает 250 Вт/м^2 (для средней полосы России 120 Вт/м^2).

Средняя удельная плотность энергии ветра, как правило, не превышает нескольких сотен Вт/м^2 . Так при скорости ветра 10 м/с удельная плотность потока энергии ($E = \frac{1}{2}\rho V^3$, ρ — плотность воздуха, V — скорость ветра) приблизительно равна 500 Вт/м^2 .

Плотность энергии водного потока, имеющего скорость 1 м/с , также составляет всего около 500 Вт/м^2 . Для сравнения укажем, что плотность теплового потока на стенках топки парового котла достигает нескольких **сотен кВт/м}^2**.

Однако, несмотря на это, технологии использования этих видов ВИЭ активно развиваются во многих странах мира, многие из них достигли коммерческой зрелости и успешно конкурируют на рынке энергетических услуг, в том числе при производстве электрической энергии. Хотя неустойчивость ветра приводит к необходимости применения средств аккумуляции энергии, что удорожает установку, и в целом стоимость получаемой энергии оказывается выше, чем на гидроэлектростанциях (ГЭС) и теплоэлектростанциях.

При современных аэродинамически совершенных винтах и преобразующих устройствах $2,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ фронта ветра могут дать мощность 150 МВт при любой скорости ветра, превышающей $6 - 8 \text{ м/с}$. Обычно в мировой практике принято считать, что если среднегодовая скорость ветра в данной местности превышает $5 - 6 \text{ м/с}$, то использование ветроэлектрических установок (ВЭУ) на территории перспективно.

К особенностям этих видов ВИЭ относится то, что они в максимальном своем проявлении как бы «затеняют» друг друга, особенно в летний период. Так, если сильный ветер, при перемене погоды, то обычно большая облачность и меньше инсоляция, а при слабом ветре — больше интенсивность солнечного излучения. При солнечной погоде, когда нет облаков, обычно не бывает сильных ветров. Длительная жаркая (без дождей) погода, практически безветренная, способствует образованию смога, уменьшает сток рек, а значит и выработку электроэнергии на ГЭС.

Во время дождя плоские солнечные коллекторы быстро охлаждаются. А после дождя, когда воздух очищен от пыли и аэрозолей, инсоляция повышена, поскольку плотность влажного воздуха меньше, чем сухого, при одинаковых условиях, т.к. молекулярная масса паров воды меньше, чем средняя молекулярная масса воздуха, «работоспособность» ветра понижается. Сила ветра влияет на возможность гелиооборудования принимать и сохранять аккумулированную солнечную энергию. Так чем сильнее ветер, тем больше потери тепла из плоских солнечных коллекторов, а также меньшее количество солнечного излучения проникает в солнечный соляной пруд.

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 аккумулирования теплоты, например, водяным баком-аккумулятором. При определенной периодичности чередования солнечных и пасмурных периодов в течение дня аккумулятор может и не восполнить запас теплоты.

Если изложенное выше соотнести с территориями, то, несомненно, на Севере потенциал энергии ветра многократно выше, чем в средней полосе России, а солнечный наоборот, ниже, чем, например, в Омской области.

В направлении экономии энергетических ресурсов в России делаются определенные шаги по развитию и геотермальной энергетики на равнинных территориях, где отсутствует вулканическая деятельность, в частности в Омской области. Всего в регионе разведано около сотни термальных подземных источников, которые можно было бы использовать как в коммунальных, так и в промышленных целях. Источники расположены на глубине 600 – 900 м с температурой на устье скважины свыше 60 °С.

Однако при освоении этих геотермальных месторождений был достигнут лишь кратковременный положительный результат, не приведший к окупаемости капложений. Так в селе Чистово Оконешниковского муниципального образования, геотермальная котельная подтвердила в морозы свою эффективность только в период пуска и срока эксплуатации в течение всего нескольких лет. В этот период геотермальная котельная позволила значительно сэкономить деньги Оконешниковского муниципального образования. В селах, где до этого работали мазутные котельные, по ценам 2010 года 1 Гкал обходилась в 2600 рублей. А стоимость тепла от термальных вод составила 1600 рублей за Гкал. За отопительный сезон геотермальная котельная сэкономила бюджету 1,7 млн рублей. При таких показателях она должна была окупиться за 7 – 8 лет. Однако сейчас ситуация изменилась, поскольку «производительность» геотермальной скважины начала падать. И масштабное освоение геотермального месторождения отложено.

Геотермальная котельная в селе Чистово была построена в 2006 году в рамках региональной программы освоения альтернативных теплоисточников. На её строительство было потрачено 16 млн рублей из областного бюджета. При этом структура затрат на теплоснабжение в селе кардинально изменилась. Более 50 % расходов — это электроэнергия, которая приходит по ЛЭП. Остальное — заработная плата персонала, обслуживающего котельную. В селе не стало проблем с тем, завезли или не завезли мазут. Вода с температурой 70 °С поступала прямо из-под земли. Это, конечно же, очень важно. В образовании десятки поселков находятся в 130 км от областного центра и в 100 км от железной дороги [Медведев А. Термальное отопление доказало свою эффективность/ А. Медведев // Энергосбережение в Сибири. 2010. № 1. С. 92 – 93].

Падение «производительности» геотермальных скважин присуще большинству месторождений. Так анализ работы геотермальных электростанций в Новой Зеландии и Италии показал, что со временем падают давление и температура в скважине и в отдельных местностях значительно оседает поверхность земли вокруг скважины на площади примерно 6 км², а производительность скважины убывает по экспоненциальному закону. Это подтверждается исследования Дядькина Ю.Д. и Парийского Ю.М. [Дядькин Ю.Д., Парийский Ю.М. Извлечение и использование тепла Земли. Л.: 1997].

Эти два примера использования ВИЭ наглядно показывают, каким **взвешенным** должен быть выбор использования дополняющих друг друга ВИЭ, как на региональном, так и на муниципальном уровне. Снижение теплоотдачи геотермально источника наводит на мысль возможности его крайне ограниченного использования в Омской области только в зимний период, возложив на **солнечную энергетику**, и в отдельных муниципальных образованиях дополнительно на энергию ветра широкое обеспечение потребителей летом тепловой и электрической энергией и ограниченно зимой.

Солнечный соляной пруд как базовый элемент использования энергии Солнца в установках и системах малой энергетики

Возможность самого широкого использования солнечной энергии (радиации) **летом** в средней полосе России, в том числе в Омской области, не вызывает сомнения, исходя из её значений.

Детальные исследования последнего времени специалистов Института высоких температур РАН (в том числе с использованием спутниковых данных NASA) показали, что более 60 % территории России, включая многие северные районы, характеризуются существенными среднегодовым поступлением солнечной энергии 3,5 – 4,5 кВт·ч/м² день.

Наиболее «солнечными» являются регионы Дальнего Востока, кроме Камчатки, и юг Сибири (от 4,5 до 5,0 кВт·ч/м² день). А большая часть Сибири, включая Якутию, (до 62 – 65° северной широты) по среднегодовому поступлению солнечной радиации относятся к той же зоне, что и районы Северного Кавказа и Сочи (4,0 – 4,5 кВт·ч/м² день)

В целом, технический потенциал солнечной энергии в России примерно в два раза превышает сегодняшнее, суммарное энергопотребление по стране. При рассмотрении технического потенциала использования солнечной энергии на юге Западной Сибири в конце XX века исходили из тех технологических решений, которые применялись на 35 – 40 широтах территории СССР. Где отличительным признаком был и остается более продолжительный (по количеству дней в году) период повышенной инсоляции, при практически одинаковых значениях в летние месяцы. Однако, в настоящее время, на базе солнечных соляных прудов, для 50 – 60° северной широты разработаны новые технологии. Эти технологии, используют не одну только солнечную энергию, но и её производные (в частности неиспользованную теплоту термодинамического цикла), что позволяет вырабатывать, с существенным снижением зимой, энергию круглый год или запасать, например, посредством биогаза, вырабатываемого для зимнего периода летом с использованием солнечной энергии. Да и сам солнечный соляной пруд зимой можно использовать как источник (аккумулятор) низкопотенциальной теплоты для повышения температуры пара хладагента теплового насоса непосредственно перед компрессором.

Что такое солнечный соляной пруд и каковы его характеристики.

Солнечный соляной пруд (рисунок 2) — это неглубокий (2 – 4 м) бассейн с крутым рассолом в нижней его части, у которого в нижнем придонном слое температура под действием солнечной радиации достигает 90 – 100 °С и даже выше. На 1 м² площади пруда требуется 500 – 1000 кг поваренной соли, её можно заменить хлоридом магния.

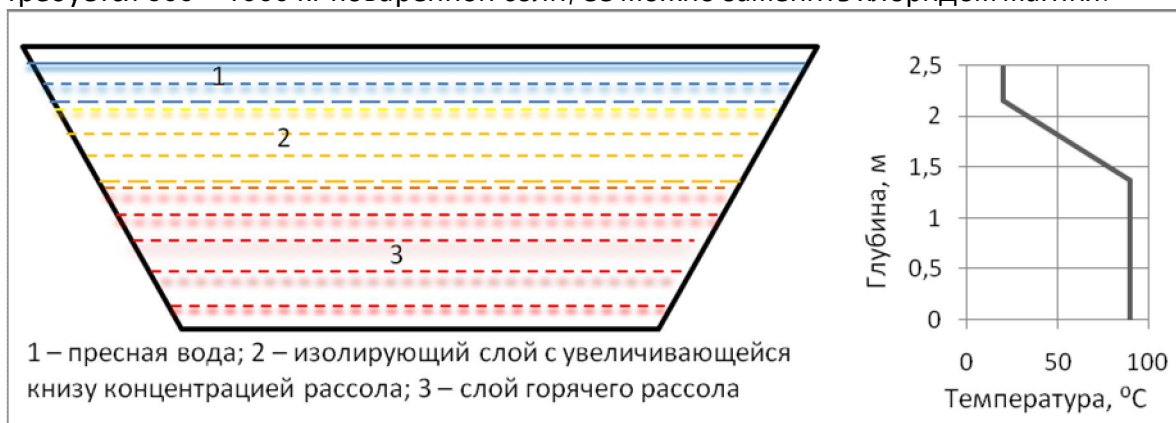


Рисунок 2 – Схема солнечного соляного пруда и изменение температуры жидкости по глубине пруда

Физической основой возможности получения температур до 100 °С вблизи дна пруда (рис. 2) является **подавление гравитационной конвекции** — всплытия нагретой Солнцем вблизи дна жидкости вверх под действием архимедовой силы, если плотность жидкости падает с ростом температуры. Чистая и слабосоленая (в том числе морская) вода подчиняется этому закону: по мере нагрева из-за термического расширения плотность уменьшается и нагретая вода всплывает вверх, отдавая тепло воздуху, а её место замеща-

ет холодная. Устанавливается непрерывный процесс конвекции с переносом теплоты от нагретого Солнцем дна вверх и отдача ее воздуху. Именно поэтому вода в море не нагревается выше 25 – 30 °С.

В солнечном пруду такой конвекции нет, потому что у крутосоленого рассола большой плотности, находящегося у дна, по мере нагрева плотность понижается незначительно, недостаточно для подъема рассола вверх. Если же на дне есть соль, то её в горячем рассоле растворяется больше, чем в «холодных» верхних слоях, увеличивая его плотность.

Механизм отдачи тепла от нагреваемого дна и придонного слоя — это только теплопроводность через грунт вниз, через боковые откосы и слой неподвижной воды вверх. Основную часть энергии в солнечном спектре несут коротковолновые — видимые — и ультрафиолетовые лучи, которые слабо поглощаются в толще воды и достигают дна. В таком пруду часть солнечного излучения — инфракрасного спектра полностью поглощается верхним слоем пресной воды, в то время как часть коротковолнового начнет поглощаться более низкими слоями воды, а не поглощенная часть излучения, прошедшего сквозь воду, — темным дном. Энергия, отраженная от темного дна, частично поглощается водой.

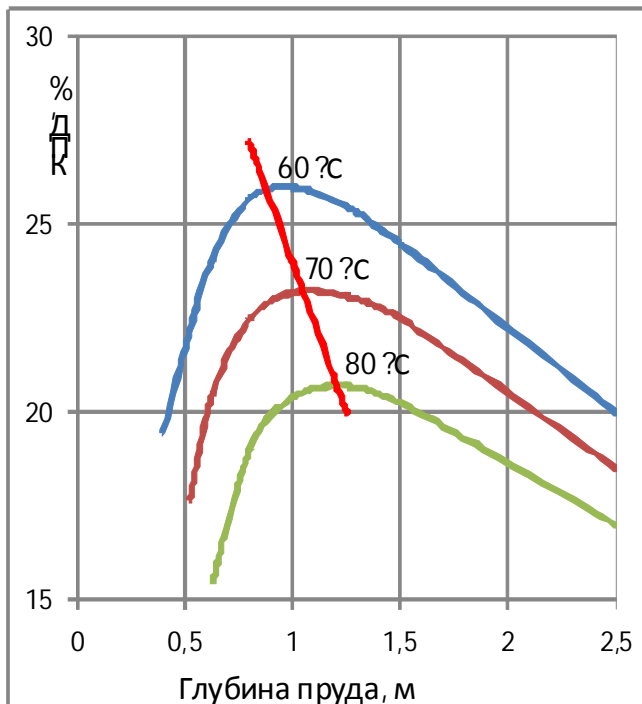
Теплопроводность существенно слабее конвекции, так что вблизи дна рассол будет нагреваться до упомянутых величин. Имеются сведения о получении температуры 102 и 109 °С и расчетные предположения о возможности достичь 150 °С в насыщенных рассолах. Разумеется, эти температуры зависят от географической широты, прозрачности атмосферы, пресной воды, изолирующего слоя и черноты и теплоизоляции дна и боковых стенок, наличия концентраторов солнечного излучения в акваторию пруда и ветра.

Верхний слой пруда состоит из пресной воды, с толщиной обычно 0,1 – 0,3 м, где подавить перемешивание жидкости не удастся. Сказывается действие ветра, неравномерного загрязнения поверхности и других причин. Этот слой называется **верхней конвективной зоной**, и его толщина должна быть как можно меньше и чище, и поверхность без ряби, чтобы снизить потери излучения, входящего в воду. То, солнечное излучение, что поглотилось в верхней конвективной зоне, — потери энергии, ибо она легко уносится с поверхности ветром и за счет испарения воды. Ниже находится **градиентный слой** (изолирующий слой с увеличивающейся книзу концентрацией рассола), именно здесь создается «термоклин» и «галоклин» — резко неравномерное распределение и температуры, и солености при полном отсутствии перемешивания, если пруд работает устойчиво. От толщины этого слоя — **не конвективной зоны** — сильно зависят все характеристики пруда. Термическое сопротивление изолирующего слоя воды составляет примерно $1,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, в то время как у плоского пластинчатого солнечного приемника сопротивление стенок $0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. В ранее построенных зданиях средней полосы России сопротивление теплопередаче стен составляет $0,9 - 1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, окон — $0,39 - 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, покрытий — около $1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Принятые новые нормативные требования увеличили требуемые значения сопротивления теплопередаче: для стен до $3,0 - 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, для окон — до $0,55 - 0,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, для покрытий — до $4,5 - 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. А самое существенное в этой «конструкции» пруда, это то, что термическое сопротивление градиентного слоя в 1000 раз выше сопротивления пресной воды при наличии свободной конвекции ($0,0018 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{Вт}^{-1}$).

Наконец, в **придонном слое** находится зона накопления энергии, состоящая из слоя горячего рассола, или **конвективная зона**, где допустимо перемешивание. Её толщина также влияет на показатели пруда — в основном на его тепловую инерцию.

Полезной энергией пруда является теплота, аккумулированная в этом слое. Её можно использовать как для целей теплоснабжения, так и для выработки электроэнергии путем пропускания рассола из этой зоны через какие-либо теплообменники. На рисунке 3

показана величина КПД пруда — отношение отводимой теплоты к падающей на поверхность солнечной энергии [Янтовский Е.И. Потoki энергии и эксергии М.: Наука, 1988. 144 с].



Для солнечных соляных прудов в настоящее время используют отходы соляных производств, содержащие большую долю хлорида магния, не пригодную для питания. А чтобы предотвратить утечки поверхность дна покрывают пластмассовой пленкой или слоем фурановой смолы (при покрытии дна пресноводного пруда пленкой воду надо регулярно сливать, иначе она будет портиться). Иногда достаточно того, что дно «убивается» водонепроницаемой глиной.

Рисунок 3 – Зависимость КПД солнечного соляного пруда, не имеющего теплоизоляции дна и боковых стенок, от температуры рассола (°C) и глубины не конвективной зоны

Солнечный пруд представляет собой одновременно коллектор и аккумуля-

мулятор теплоты, причем по сравнению с обычными коллекторами и аккумуляторами он является более дешевой системой

Существенным преимуществом солнечных соляных прудов является то, что наряду с прямым солнечным излучением они воспринимают (аккумулируют) рассеянное излучение, отраженное от облаков, предметов и т.п.

Поскольку раствор солей **солнечного соляного пруда** может содержать различные концентрации хлористых натрия и магния и их отношения, то однозначно говорить о спектрах поглощения нет смысла. Хотя данных по этому вопросу предостаточно.

Так, например, исследованиями, проведенными в СССР (Ю. Усмановым) по выявлению коэффициента пропускания излучения различных длин волн для воды и раствора хлористого магния различной концентрации получены следующие результаты (рис. 4). А. Б. Дж. Бринквортом показана графическая зависимость поглощения солнечной радиации и монохроматическая плотность потока солнечной радиации (излучения) в зависимости от длин волн (рисунок 5).

Следовательно, количественное поступление прямого солнечного излучения к горячему рассолу пруда, после вступления в воду, будет зависеть: от монохроматической плотности потока солнечной радиации (излучения); от высоты Солнца. А также от альбедо поверхности пруда, от чистоты верхнего слоя солнечного соляного пруда, состоящего из пресной воды, с толщиной обычно 0,1 – 0,3 м, где подавить перемешивание не удастся, состава, концентрации и толщины раствора в градиентном слое (изолирующем слое с увеличивающейся книзу концентрацией рассола), от чистоты воды и рассола.

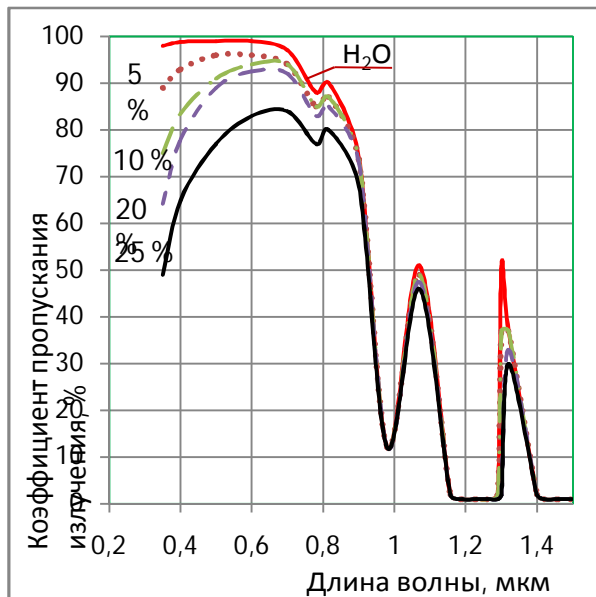


Рисунок 4 – Зависимость пропускной способности раствора хлористого магния от концентрации

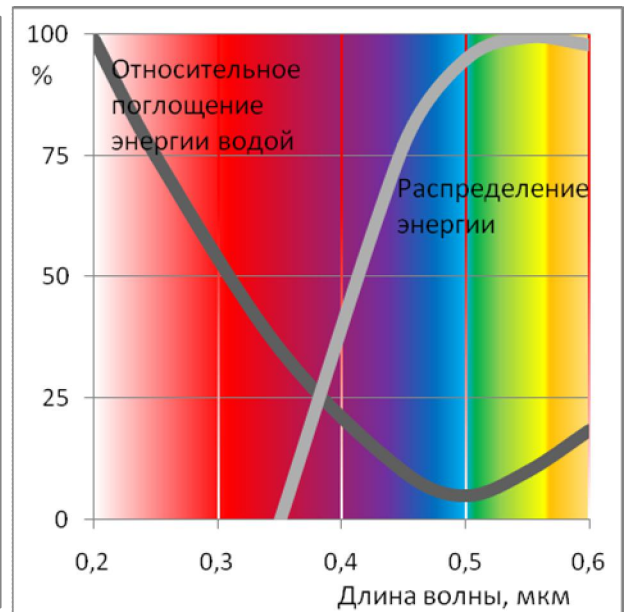


Рисунок 5 – Поглощение солнечной радиации в воде

Из рисунков 4 и 5 следует, что вода обладает наибольшей пропускной способностью в видимой области солнечного спектра. Это является очень благоприятным фактором для прохождения солнечной радиации через верхний пресный слой солнечного соляного пруда.

Эффективность работы любой энергогенерирующей системы использующей солнечную энергию напрямую зависит от того применяется ли в её составе концентратор солнечной энергии и каков он. Меняющий свою ориентацию в пространстве, отслеживающий перемещение Солнца по небосводу или неподвижный, его форма и материал из которого изготовлены отражающие поверхности и многое другое.

Для оценки эффективности концентраторов прямого солнечного излучения в РФ (высоких широтах), для систем и сооружений с солнечным соляным прудом в качестве сравнительных данных, ниже будем использовать в основном данные по солнечному сиянию и прямой радиации и радиации на вертикальные поверхности в г. Омске. Хотя до последнего времени Омская область, как и вся средняя полоса России не рассматривались, как место потенциального использования солнечной энергии для энергоснабжения хозяйственной и производственной деятельности человека, и исследований в этом направлении практически не проводилось.

Для средней полосы России характерным является то, что Солнце как бы движется вокруг объекта, набирая значительную высоту к началу облучения южных стен ранним утром (в летний период) и остается на ней (высоте) к окончанию их облучения (вечером). Причем, например, для Омска время облучения южных стен в июне-июле — **менее 10 часов** (таблица 7), в то время как продолжительность дня в период летнего солнцестояния превышает 17 часов.

Таблица 7 – Время (часы, минуты) начала и конца облучения прямой солнечной радиацией южных стен на 15-е число каждого месяца и время восхода и захода Солнца для Омска [Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ). Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с].

Восход, начало	Заход, конец	Восход	Начало	Конец	Заход
Январь		Апрель			
8 08	15 52	4 58	6 27	17 33	19 02
Февраль		Май			
7 08	16 52	3 58	6 54	17 06	20 02
Март		Июнь			
6 08	17 52	3 20	7 12	16 48	20 20

Продолжение таблицы 1

Восход	Начало	Конец	Заход	Восход, начало	Заход, конец
Июль			Октябрь		
3 34	7 03	16 57	20 26	6 42	17 18
Август			Ноябрь		
4 27	6 39	17 21	19 33	7 47	16 13
Сентябрь			Декабрь		
5 36	6 09	17 51	18 24	8 23	15 37

Примечания: 1. Время указано истинно солнечное.

2. В зимний период года начало, и конец облучения солнечной радиацией южных стен совпадает с восходом и заходом Солнца.

3. В летний период года время начала облучения солнечной радиацией южных стен совпадает с концом облучения северных стен и наоборот.

4. Время начала облучения восточных стен совпадает с восходом Солнца, конец облучения в 12 ч. Время конца облучения западных стен совпадает с заходом Солнца.

Изменение продолжительности дня в течение года, и соответственно возможная продолжительность солнечного сияния в Омске в графическом виде представлена на рисунке 6. А на рисунке 7 приведены строго повторяющиеся данные по суточному ходу Солнца и склонение Солнца (δ).

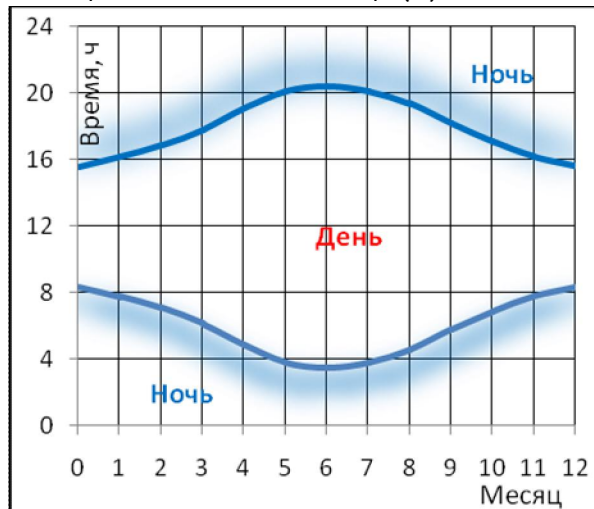
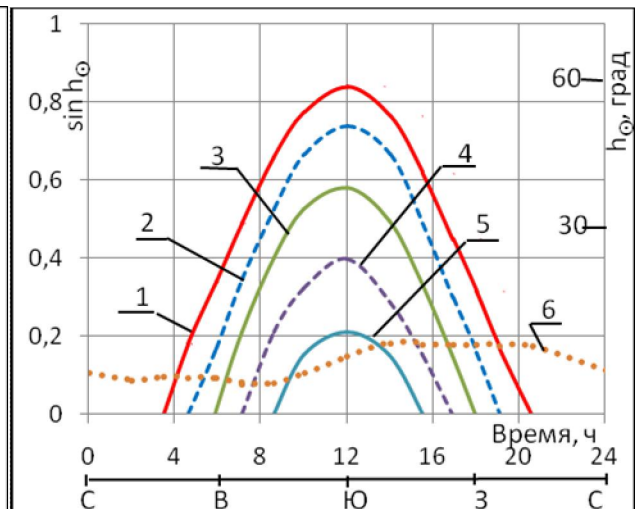


Рисунок 6 – Продолжительность (ч) дня и ночи в городе Омске.



1 – $\delta = 23^\circ$ (10 июня и 3 июля), 2 – $\delta = 12^\circ$ (22 апреля и 22 августа), 3 – $\delta = 0$ (21 марта и 23 сентября), 4 – $\delta = -12^\circ$ (25 октября и 17 февраля), 5 – $\delta = -23^\circ$ (11 декабря и 1 января), 6 – график закрытости горизонта.

Рисунок 7 – Суточный ход высоты Солнца и график закрытости горизонта в Омске.

Широта месторасположения Омска определяет продолжительность дня и соответственно возможную продолжительность солнечного сияния. В день зимнего солнцестояния — 22 декабря (рисунок 6) продолжительность дня в Омске 6 ч 48 мин, а 22 июня — 17 ч 08 мин. Средняя продолжительность солнечного сияния в Омске равна 2223 ч/год (в Батуми — лишь 1890 ч, в Харькове — 1748 ч, в Париже — 1800 ч, в Страсбурге — 1650 ч/год. Несколько выше в Риме — 2363 ч, в Ницце — 2800 ч.). В Омске среднее число дней в году без Солнца всего 57, при 42 днях без Солнца зимой.

Инвентаризация гелиопотенциала Амурской области: Гелиоэнергетические ресурсы области в целом составляют: на юге 1300 – 1400 кВт·ч/м², на севере 1100 – 1200 кВт·ч/м². Максимальная годовая продолжительность солнечного сияния (2300 – 2500 ч) наблюдается в южных районах. Фактическая продолжительность солнечного сияния по отношению к астрономически возможной за год составляет на севере области 45 %, а на юге 60 %, что сопоставимо с аналогичными параметрами для наиболее солнечной страны СНГ — Туркмении.

Если сопоставить, данные таблицы 7 с кривой 1 рисунка 7 то следует, что летом к началу облучения южной стены высота Солнца будет около 30°.

Следовательно, в это время, солнечные лучи, обладающие значительной плотностью энергии, будут только скользить по южной ограждающей конструкции здания, не обеспечивая надлежащую концентрацию (отражение солнечных лучей) от южной стены.

Из рисунка 7 следует, что особенности суточного хода Солнца в Омске таковы, что положение Солнца на небосводе во время восхода и после него (во время заката и до него) строго на востоке (на западе) наблюдается с 21 марта по 23 сентября. При этом около месяца после 21 марта и до 23 сентября оно находится для Омска, в зоне **возможной** закрытости горизонта.

Характерной чертой движения Солнца по небосводу в средних широтах, в частности в Омске является то, что летом продолжительность освещения Солнцем стен восточной и западной ориентации составляет **для каждой из них** $\approx \frac{2}{3}$ от продолжительности освещения стены южной ориентации (таблица 8).

Таблица 8 – Месячная продолжительность (ч) солнечного сияния для стен разной ориентации.

Ориентация	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Север	—	—	—	12	77	104	88	54	2	—	—	—
Восток	36	56	92	122	144	161	156	125	95	48	33	26
Юг	82	122	192	236	213	214	210	198	189	98	72	60
Запад	46	67	100	126	146	157	142	127	95	50	38	35

Величины суточного хода прямой солнечной радиации на вертикальные поверхности ориентированные по сторонам света зависят от продолжительности солнечного сияния, скорости «подъема/опускания» Солнца и максимальной высоты Солнца (рисунки 8 и 9).

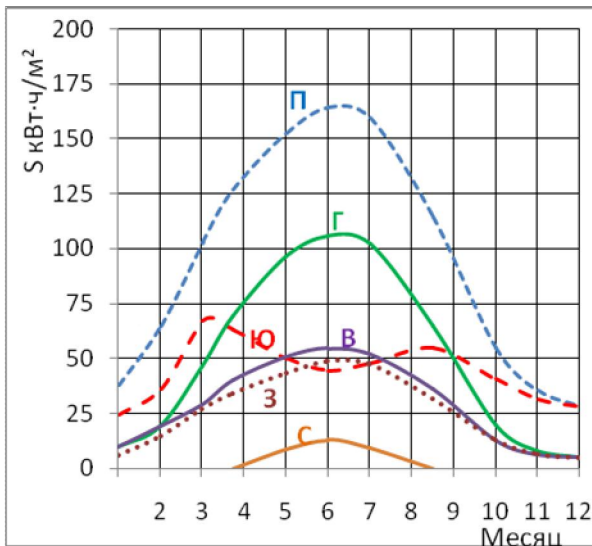


Рисунок 8 – Годовой ход прямой солнечной радиации, поступающей на стены зданий различной ориентации (С, В, Ю, З), перпендикулярную (П) и горизонтальную (Г) поверхности.

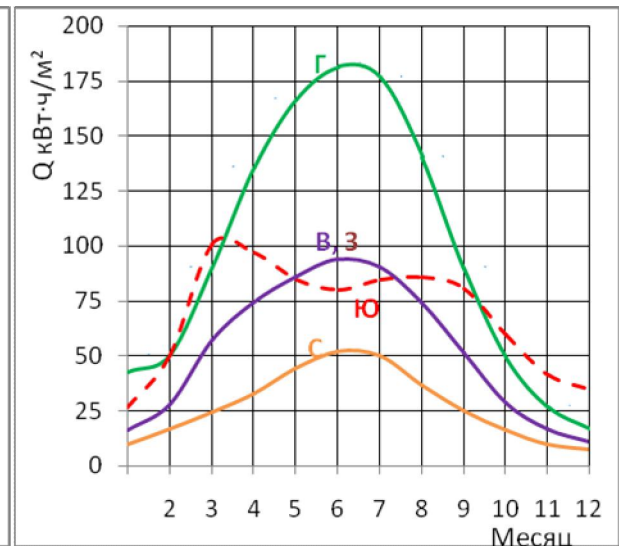


Рисунок 9 – Годовой ход суммарной солнечной радиации, поступающей на стены зданий различной ориентации (С, В, Ю, З) и горизонтальную (Г) поверхность.

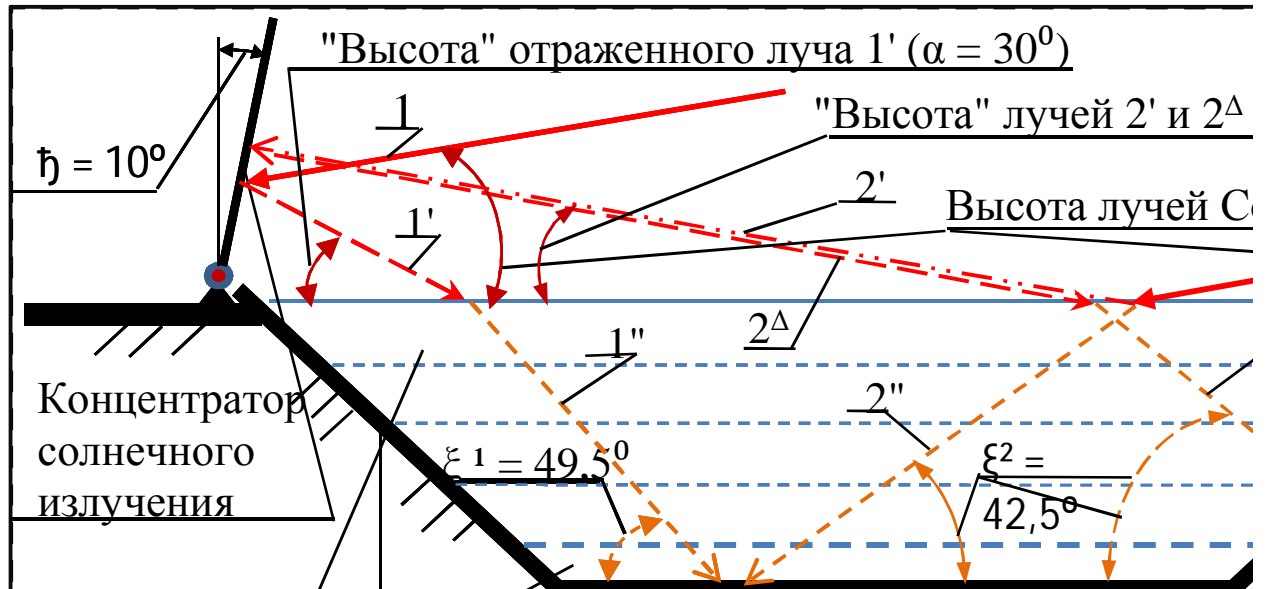
Из рисунков 8 и 9 следует, что количество солнечной радиации приходящей на вертикальную поверхность, ориентированную на юг в июне немного меньше количества солнечной радиации приходящей на вертикальные поверхности ориентированные на восток и на запад. В то время как ранней весной и поздней осенью на вертикальную поверхность, ориентированную на юг приходит несравненно больше солнечной радиации.

Ещё большая «контрастность» в поступлениях солнечного излучения на поверхности, ориентированные по частям света наблюдается в более низких широтах, в частности в Ташкенте. Там максимальная плотность прямого солнечного излучения, приходящая на вертикальную поверхность ориентированную утром на восток, а вечером на запад в июле более чем в **два раза** превышает плотность прямого солнечного излучения приходящего в полдень на вертикальную поверхность, ориентированную на юг. С уменьшением географической широты это превышение увеличивается (*тропики находятся намного южнее, и плотность прямого солнечного излучения приходящая на вертикальную поверхность, ориентированную в полдень на юг будет равна нулю*).

Проведенные исследования данных по инсоляции [Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ). Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с] показывают, что прямое солнечное излучение (летом «продуктивное» с 8 – 9 ч до 15 – 16 ч) может являться основным, но не единственным источником поступления в солнечный соляной пруд солнечной энергии. Так для **малых прудов** крайне важно использовать прямое солнечное излучение, отраженное от концентраторов — для увеличения поступления солнечного излучения в пруд, за временными границами, так называемой наибольшей дневной «продуктивности» Солнца. С учетом того, что время подъема Солнца с 10 до 20° на экваторе, северном тропике и, например, на широте Омска 21 июня составляет 45, 46 минут и 1 час 14 минут соответственно (*в Омске утром Солнце поднимается в 1,64 раза медленнее, чем на экваторе*).

Применение концентраторов позволяет расширить также и границы месячной «продуктивности» солнечного излучения.

Для решения этой проблемы найдено техническое решение, которое исследовано применительно к широте города Омска начиная с 23 апреля ($h_{\odot} = 10^{\circ}$), когда Солнце стоит строго на востоке (рисунок 9).



1 – солнечный луч; 1', 1'' – направления движения солнечного луча 1 после отражения от концентратора и после вхождения в воду; 2 – солнечный луч; 2', 2'', 2^Δ, 2⁺ – направления движения солнечного луча 2 после отражения от водной поверхности пруда, концентратора и после вхождения в воду; h_{\odot} – угол наклона прямых солнечных лучей (высота Солнца); α, τ – угол наклона отраженных солнечных лучей (высота «отраженного» Солнца); \hat{h} – угол наклона концентратора солнечной энергии; ξ – угол вхождения солнечных лучей в воду.

Рисунок 9 – Схема концентрации солнечного излучения в солнечный соляной пруд летним утром за счет изменения наклона концентратора солнечной энергии (схема направлений движений солнечных лучей, поступающих в солнечный пруд).

Угол наклона отраженного солнечного луча 1' (α , высота «отраженного» Солнца, рисунок 1) связан с высотой Солнца (h_{\odot}) и углом наклона концентратора солнечного излучения (\hat{h}) следующей зависимостью

$$\alpha = h_{\odot} + 2\hat{h},^{\circ}$$

При высоте Солнца 10° и угле наклона концентратора солнечного излучения 10° высота «отраженного» Солнца будет равна 30° .

Как видно из рисунка 1 наклон концентратора увеличивает «высоту» отраженного луча 1' с 10 до 30° , угол ξ^1 становится равным $49,5^{\circ}$ (для луча 2 ξ^2 равно $42,5^{\circ}$), а значит **водная (оптическая) масса изменяется с 1,48 до 1,32.**

Отраженные солнечные лучи вступают в воду уже под углом, уменьшающим отражение солнечного излучения водной поверхностью и поглощение солнечного излучения на пути к слою горячего рассола. Поскольку доля от концентрации луча 2' **значительна** только при очень малых высотах Солнца, здесь её не рассматриваем. Наклон концентратора солнечной энергии при малых высотах Солнца **позволяет главное** — использовать **всю высоту концентратора** для увеличения поступления солнечного излучения в пруд в наиболее проблемные утренние и вечерние часы. Использование отраженного прямого солнечного излучения является **мощным инструментом** аккумуляции прудом солнечной теплоты. **Коэффициент** концентрации солнечного излучения в пруд может составить 5,0 при высоте Солнца 10° . При высоте Солнца 15° он составляет — 3,3, и 2,6 — при 19° , уменьшаясь с увеличением высоты Солнца. Важнейшим фактором в пользу такой схемы концентрации солнечной энергии является то, что в сутках **полдень один**, а **утро и вечер это два** временных периода. В летний период в России продолжительность дня 16 –

17 часов, против 12 – 13 часов на экваторе и в тропиках. Концентратор будет отражать дополнительно в акваторию пруда и рассеянное солнечное излучение, которое утром и вечером имеет **наибольшую интенсивность** с той стороны небосвода, где в это время находится Солнце.

Исходя из результатов исследования, разработана, конструктивная схема концентратора солнечной энергии (рис. 10), которая будет также актуальна утром и вечером и для низких широт (экватор, тропики)

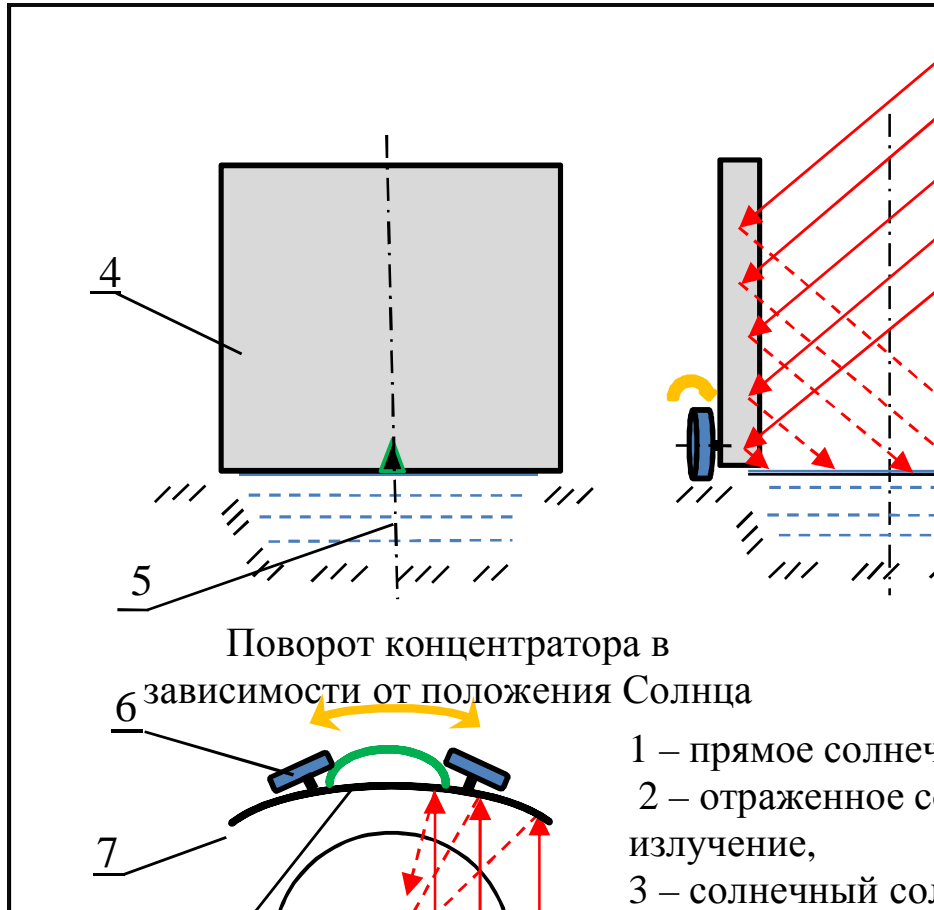
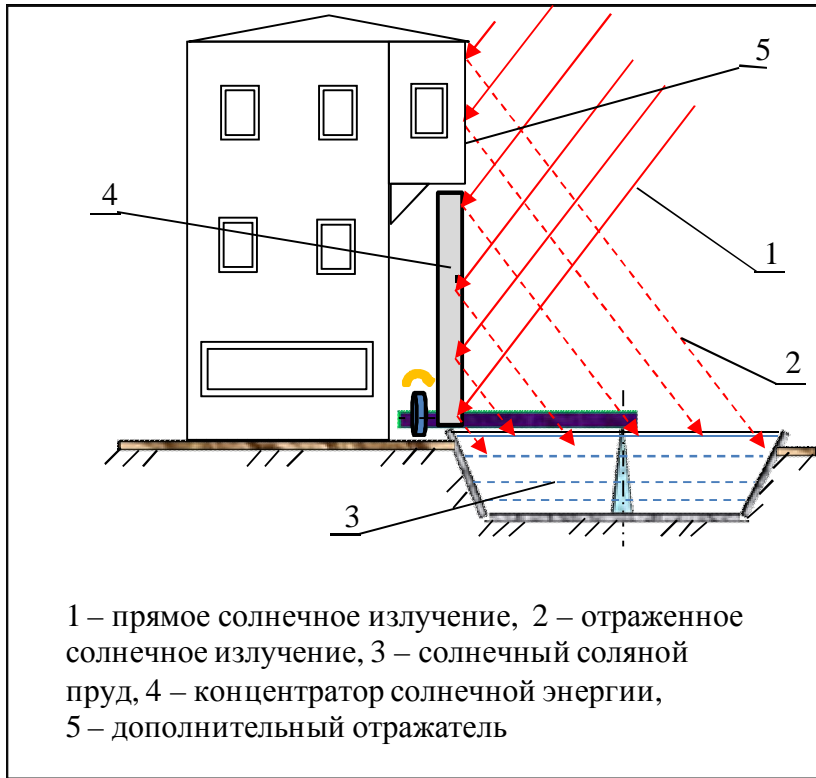


Рисунок 10 – Конструктивная схема концентрирования солнечной энергии в солнечный соляной пруд концентратором солнечной энергии за счет слежения за движением Солнца по небосводу.

Применение наклонного концентратора солнечного излучения (рисунок 9) частично 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.

Ранней весной и поздней осенью на вертикальную поверхность, ориентированную на юг в средней полосе России при малой высоте Солнца приходит больше солнечной энергии, чем на восточную и западную вертикальные поверхности. Поэтому это техническое решение по концентрации солнечного излучения и для этих временных периодов перспективно.



Для увеличения поступления в пруд солнечного излучения в полуденные часы, когда высота Солнца в Омске наибольшая, без затенения акватории пруда ранним утром и поздним вечером, когда высоты Солнца незначительны, можно, использовать в качестве отражателя выступающие «чердачные» части здания в соответствии с рисунком 11.

Рисунок 11 – Конструктивная схема дополнительной концентрации солнечного излучения в солнечный соляной пруд в полуденное время.

Использование солнечных соляных прудов малых площадей с концентрацией энергии от концентратора и дополнительного «чердачного» отражателя для российских просторов является наиболее оптимальным.

Предложенная технология концентрации и аккумуляции 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.

Исходя из данных таблицы 10, такое техническое решение (концентратор) будет востребовано во многих странах мира.

Таблица 10 – Распределение солнечных ресурсов на территории Китая [Чжао Цзиньлин, Щелгинский А.Я. Пассивные солнечные системы теплоснабжения. Опыт Китайской Народной Республики // Энергосбережение. 2009. № 2. С. 4 – 7]

Исходя из данных таблицы 10, такое техническое решение (концентратор) будет востребовано во многих странах мира.

Зона	Годовая длительность инсоляции, ч	Солнечная радиация, МДж/(м ² ·год)	Районы Китая	Соответствующие районы в других странах мира
I	2800 – 3300	7550 – 9250	Тибет и т.д.	Северные районы Индии
II	3000 – 3200	5850 – 7550	Хэбэй и т.д.	Джакарта (Индонезия)
III	2200 – 3000	5000 – 5850	Пекин, Далянь и т.д.	Вашингтон (США)
IV	1400 – 2200	4150 – 5000	Хубэй, Хунань и т.д.	Германия, Япония
V	1000 – 1400	3350 – 4150	Сычуань, Гуйчжоу	Париж, Москва

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, сырья и т.д.