

УДК 621.311:621.311.243:502.174.3(285.3)(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-12-48-55

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СОЛНЕЧНЫХ СОЛЯНЫХ ПРУДОВ
В УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

В.В. Кириллов

Аннотация. Рассматривается актуальность использования установок солнечных соляных прудов, сооружаемых как в южных областях озера Иссык-Куль, так и на высокогорных протяженных перевалах. Даны рекомендации по конструированию, расчёту и месту сооружения солнечных соляных установок. Доказана целесообразность их размещения на высокогорных перевалах, где имеется дорожная инфраструктура или на береговых сооружениях, которые существенно снижают затраты на фундаментные работы. Солнечные соляные пруды способны концентрировать солнечную тепловую энергию на преобразователях с достаточным потенциалом для ее потребления. Отмечено, что солнечные соляные пруды необходимо проектировать отдельно для каждого конкретного случая. Это связано с тем, что производительность солнечных соляных прудов зависит от климатических условий местности и наличия (рассола) накопителя энергии.

Ключевые слова: солнечный соляной пруд; рассол; накопитель энергии; ледовая кромка; слабый рассол; придонный слой; плотность источника энергии; эксергия.

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ШАРТЫНДА
КҮН ТУЗДУУ КӨЛМӨЛӨРҮН ПАЙДАЛАНУНУН
НАТЫЙЖАЛУУЛУГУН ТАЛДОО**

В.В. Кириллов

Аннотация. Ысык-Көлдүн түштүк аймактарында да, бийик тоолуу узун ашууларында да курулган күн туздуу көлмөлөрдү орнотуунун актуалдуулугу каралат. Күн тузунун установкаларын долбоорлоо, эсептөө жана куруу боюнча сунуштар берилген. Аларды жол инфраструктурасы бар бийик тоолуу ашууларга же пайдубалын түптөө иштерине кеткен чыгымдарды бир топ кыскарткан жээк курулуштарына жайгаштыруунун максатка ылайыктуулугу далилденген. Күн туздуу көлмөлөрү күндүн жылуулук энергиясын керектөө үчүн жетиштүү потенциалы бар конвертерлерге топтой алат. Күн туздуу көлмөлөр ар бир конкреттүү учур үчүн өзүнчө долбоорлошу керектиги белгиленген. Себеби, күн туздуу көлмөлөрдүн өндүрүмдүүлүгү аймактын климаттык шарттарына жана энергияны сактоочу түзүлүштүн (шордуу) болушуна жараша болот.

Түйүндүү сөздөр: күн туздуу көлмө; туздуу суу; энергияны сактоочу; муз чети; начар туздуу суу; төмөнкү катмар; энергия булагынын тыгыздыгы; эксергия.

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING SOLAR SALT PONDS
IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

V.V. Kirillov

Abstract. The article contains the relevance of the use of solar salt pond installations both in the southern regions of Lake Issyk Kul, as well as on long high mountain passes. The work provides recommendations for the design, calculation and location of solar salt installations. It is most advisable to place solar salt ponds on high mountain passes where there is road infrastructure or on coastal structures, which significantly reduce the cost of foundation work. Solar salt ponds will ensure that solar thermal energy is concentrated on converters with sufficient potential for consumption.

Solar and salt ponds working for the energy consumer are designed separately in each specific case. This is due to the fact that the performance of solar salt ponds depends on the climatic conditions of the area and the availability of (brine) energy storage.

Keywords: solar salt pond; brine; energy storage; ice edge; weak brine; bottom layer; energy source density; exergy.

В последние годы все большее внимание привлекают возможности использования экологически чистых возобновляемых источников энергии. Их естественная возобновляемость, повсеместность и огромный энергетический потенциал делают их весьма привлекательными и перспективными. Поэтому в настоящее время не только в Кыргызстане, но и во всем мире огромное внимание уделяется экологически чистым возобновляемым источникам энергии, имеющим достаточно высокий потенциал.

К одному из перспективных видов возобновляемой энергии относится низкопотенциальная энергия солнечных соляных прудов, которая может использоваться для нужд отопления, горячего водоснабжения, опреснения морской воды, получения электроэнергии. Солнечные пруды занимают все более заметное место в ряду современных технологий использования возобновляемых источников энергии.

Потенциал солнечной радиации Кыргызстана достаточно велик и составляет 1000–1700 кВт·ч/м² в год, количество солнечных часов в году составляет 2200–3000. Климат характеризуется большим числом ясных дней (особенно в летний период), высокой температурой воздуха и незначительным количеством атмосферных осадков в течение года.

Анализ показал, что в республике имеется достаточное количество потенциальных малоэнергоёмких потребителей (фермеры, геологи, садоводы дачные участки туристические фирмы), трудовая деятельность которых протекает вдали от централизованных электросетей, которые нуждаются в автономном электроснабжении.

Климатические условия и наличие потенциальных потребителей создают предпосылки для использования солнечных соляных прудов для энергоснабжения.

Солнечный соляной пруд представляет собой одновременно коллектор и аккумулятор теплоты, причем по сравнению с обычными коллекторами и аккумуляторами, он является более дешевой системой.

Наиболее известный и наибольший по площади пруд был создан в 80-х годах прошлого века в Израиле вблизи Мертвого моря. Его площадь составляет 250 тыс. м². На нем построена и испытана паротурбина фреонов, энергетическая установка мощностью 5 МВт. Там же создан экспериментальный солнечный пруд с насыщенным раствором 95 % хлорида магния и 5 % хлорида кальция площадью 4×4,5 м, глубиной 0,9 м. В 1978 г. с пруда площадью 7500 м² была получена электрическая мощность 150 кВт. Летом 1984 г. была получена температура 98 °С. Утверждается, что пруд такого типа может давать температуру в интервале 120–150 °С.

В Австралии возле Мельбурна 38° ЮШ были построены два пруда глубиной 3 м, площадью по 1000 м² на грунте из водонепроницаемой глины. Один из прудов был оставлен без теплоизоляции, другой имел изоляцию из пенополистирола с пленкой из бутанола. Рассол представлял собой отходы от опреснения морской воды – смесь хлоридов магния и натрия.

Устройство солнечного соляного пруда и его параметры. Солнечный соляной пруд (рисунок 1) – это неглубокий (2–3,5 м) искусственно сооруженный или естественный водоём с концентрированным рассолом в донной его части, у которого в нижнем придонном слое температура под действием солнечной радиации достигает 100 °С и выше [1].

Принцип работы солнечных соляных прудов (ССП) аналогичен работе солнечных жидкостных коллекторов, только физические процессы в них протекают в диаметрально противоположных направлениях. В коллекторах вода нагревается и плотность уменьшается, вследствие чего осуществляется конвекция теплопередачи. В ССП же, нагрев солевого раствора приводит к увеличению его плотности, что препятствует конвективному движению. Получение высоких температур у дна пруда можно объяснить устранением гравитационной конвекции – нагретая лучами солнца жидкость движется вверх под действием архимедовой силы, если плотность жидкости падает с ростом температуры. Пресная,

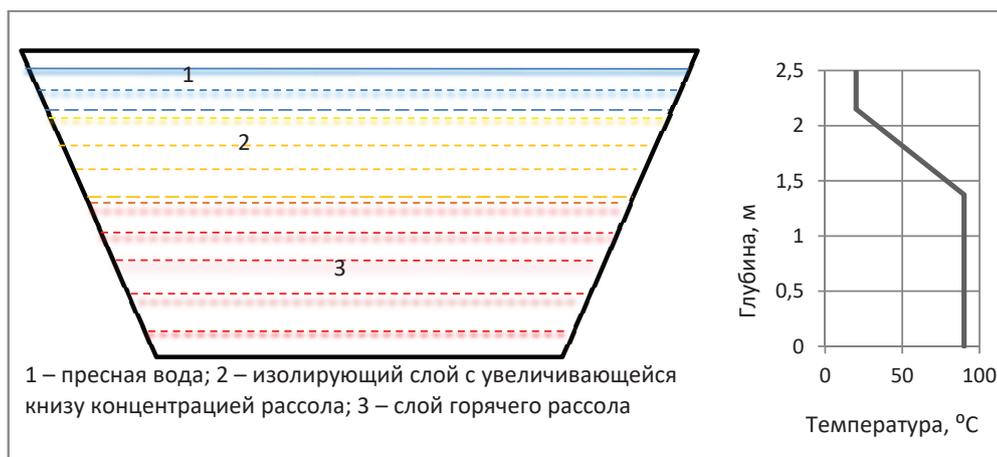


Рисунок 1 – Схема солнечного соляного пруда и изменение температуры жидкости по глубине пруда

слабосоленая, в том числе, и морская вода подчиняется этому закону: по мере нагрева из-за термического расширения плотность уменьшается, и нагретая вода поднимается вверх, отдавая тепло воздуху, а её место замещает холодная. Устанавливается непрерывный процесс конвекции с переносом теплоты от нагретого солнцем дна вверх и отдача ее воздуху.

В ССП такой конвекции нет, потому что у соленого рассола большой плотности, находящегося у дна, по мере нагрева плотность повышается из-за роста растворимости соли в воде и этот эффект пересиливает действие расширения жидкости. Соль в горячей воде растворяется интенсивнее, чем в холодной, в основном благодаря диффузии. Следовательно, при нагреве придонного слоя кристаллы соли быстрее переходят в рассол, увеличивая его плотность.

Механизм отдачи тепла от нагреваемого дна и придонного слоя – это только теплопроводность через грунт вниз, через боковые стенки и теплопередачи неподвижной воды вверх. Известно, что часть энергии в солнечном спектре несут коротковолновые – видимые – и ультрафиолетовые лучи, которые слабо поглощаются в толще воды и достигают дна. Таким образом, в таком пруду часть солнечного излучения инфракрасного спектра полностью поглощается верхним слоем пресной воды и коротковолновый спектр радиации поглощается более низкими слоями воды, а непоглощенная часть излучения, прошедшего сквозь воду, – темным дном. Энергия, отраженная от дна, частично поглотится водой на обратном пути. Вследствие чего вода в море не нагревается выше комфортной температуры – 25–30 °C.

Теплопроводность существенно слабее конвекции, так что вблизи дна рассол будет нагреваться до упомянутых величин. Имеются сведения о получении температуры 102 и 109 °C, а также расчетные предположения о возможности достичь 150 °C в насыщенных рассолах [1, 2]. Разумеется, эти температуры зависят от географической широты, прозрачности атмосферы, пресной воды, изолирующего слоя и рассола пруда, теплоизоляции дна и боковых стенок, наличия концентраторов (отражателей солнечного излучения в акваторию пруда) и ветра.

Верхний слой классического пруда состоит из пресной воды обычно толщиной 0,1–0,35 м, где устранить перемешивание жидкости не удастся. Это связано со множеством причин – силой действия ветра, неравномерного загрязнения поверхности и других. Этот слой называется верхней конвективной зоной, и его толщина должна быть как можно меньше и чище, и поверхность должна быть без волнений и ряби, чтобы минимизировать потери излучения, входящего в воду. Часть солнечного излучения, которое поглотилось в верхней конвективной зоне, относится к потерям энергии, ибо она легко уносится с поверхности ветром и за счет испарения воды.

Ниже находится градиентный изолирующий слой с увеличивающейся книзу концентрацией рассола, именно здесь создается граница между различной солёностью воды и разной температурой, а также резко неравномерное распределение температуры при полном отсутствии перемешивания солености, если пруд работает устойчиво. От толщины и состояния этого слоя – неконвективной зоны – сильно зависят все характеристики пруда. Термическое сопротивление изолирующего слоя воды составляет примерно $1,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, в то время как сопротивление современного типичного плоского пластинчатого солнечного приемника – $0,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Для примера: в средней полосе России на построенных ранее прудах сопротивление теплопередаче стен составляет $0,9\text{--}1,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, окон – $0,39\text{--}0,42 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, покрытий – около $1,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Принятые новые нормативные требования увеличили требуемые значения сопротивления теплопередаче: для стен до $3,0\text{--}3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, для окон – до $0,55\text{--}0,60 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, для покрытий – до $4,5\text{--}5,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$. 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 ($0,0018 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$) [3].

В итоге в придонном слое находится зона накопления энергии, состоящая из слоя концентрированного рассола, или *внутренняя конвективная или энерго содержащая 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 2 показана величина КПД пруда – отношение отводимой теплоты к падающей на поверхность солнечной энергии [3].

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. Иногда достаточно того, что дно «убивается» водонепроницаемой глиной.

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.

Приведем результаты испытаний упомянутой выше энергетической установки с паровой фреонов турбиной, созданной вблизи Мертвого моря. Пруд собирает солнечную энергию на площади $0,25 \text{ км}^2$,

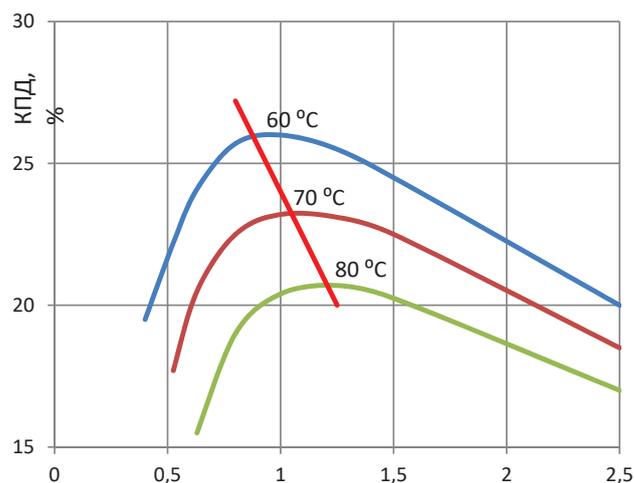


Рисунок 2 – Зависимость КПД солнечного соляного пруда, не имеющего теплоизоляции дна и боковых стенок, от температуры рассола ($^\circ\text{С}$) и глубины неконвективной зоны

а горячий рассол из нижней конвективной зоны пруда подается в теплообменник-испаритель – аналог котла на обычной ТЭС, где нагревается фреон. В турбине фреон передает мощность электрогенератору, затем конденсируется, отдавая сбросную теплоту циркуляционной воде, и насосом закачивается в испаритель. Это обычный цикл Ренки на всех низкотемпературных энергетических установках не только геотермальных, океанских, утилизационных установках на влажном воздушном паре. При испытаниях такой установки мощностью 5 МВт в реальных условиях работы солнечного пруда были получены следующие результаты испытаний установки ССП 5 МВт (таблица 1).

Анализ полученных результатов испытаний энергетических параметров установки ССП 5 МВт позволяет сделать выводы об эффективности использовании устройств такого типа не только в естественных водоёмах, но также и в искусственно сооруженных высокогорных энергетических сооружениях (таблица 2).

Эти испытания показали, что ССП действительно может стать одним из лучших устройств энергетики ВИЭ. Также подсчитана удельная электрическая мощность, полученная с 1 м² поверхности пруда – она составила 20 Вт. Среднегодовой коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) 73–90 %. Удельные капитальные затраты на создание энерго-генерирующей установки составили 4500 \$/кВт, что в среднем в два раза выше, чем соответствующие показатели по ТЭС на органическом топливе.

В работе [4] приведен пример отсутствия хозяйственной деятельности на южном побережье озера Иссык-Куль из-за значительного засоления притоков. В таблице 3 приведена оценка масштаба максимальной летней мощности при следующих допущениях энергетических показателей.

Расчет удельной электрической мощности, Вт/м² $75 \cdot 0,117 = 8$

Максимальную мощность получаем, принимая возможность использования 10 % площади перевала Ала-Бель. Полная площадь 1800 км², следовательно, возможная суммарная площадь прудов – 10 потенциально возможных 1250 км² и максимальная электрическая мощность – 10 ГВт.

Таблица 1 – Результаты испытаний установки ССП 5 МВт

Температура рассола, °С	85	Расход рассола, м ³ /с	3,66
Температура охлаждающей воды, °С	28	Расход охлаждающей воды, м ³ /с	3,66
Температура фреона перед турбиной, °С	75	Давление перед турбиной, атм.	8,2
Температура конденсации, °С	34	Тепловая мощность испарителя, МВт	60
Тепловая мощность конденсатора, МВт	55	КПД турбинной ступени, %	93
Мощность генератора, МВт	5,07	Общий КПД, %	7,12
Мощность насоса для фреона, кВт	350	Мощность насоса рассола, кВт	370
Мощность водяного насоса, кВт	320	Мощность прочих устройств, кВт	30

Таблица 2 – Расчетные значения: КПД

КПД цикла Карно	$41/348 = 0,17$
Экзегетический КПД	$0,0712/0,117 = 0,60$

Таблица 3 – Допущения энергетических показателей

Температура рассола, °С	100	Температура воды, °С	8
Температура кипения, °С	94	Температура конденсации, °С	16
КПД цикла Карно	$+273 = 0,21$	Экзегетический КПД	0,5
Общий КПД	0,117	Средняя летняя инсоляция, Вт/м ²	250
КПД пруда	0,3	Плотность потока теплоты, Вт/м ²	75

Для справки: площадь водохранилища Токтогульской ГЭС – 19000 км², при мощности ГЭС в 1.4 ГВт, а значит удельная электрическая мощность равна всего 3 Вт/м². За год на ГЭС вырабатывается около 1.8 млрд кВт·ч электроэнергии, следовательно, среднегодовой коэффициент использования установок солнечных соляных прудов (Киу ССП) м составляет около 36 % [5].

При реализации проекта на перевале Ала-Бель, находящегося на высоте 3184 м над уровнем моря, и протяжённостью в 90 км, возможно наращивать мощность постепенно, начиная с небольших предгорных южных участков перевала.

Сопоставление цифр с полученными при испытании энергоустановки вблизи Мертвого моря показывает, что эти оценки реалистичны, а принятый экзегетический КПД 0,5 существенно ниже, чем достигнутый в эксперименте – 0,6. Сезонность выдачи электроэнергии в летнее – осеннее полугодие не лишает этот проект интереса, поскольку ГЭС фактически также сезонны, поскольку летом, осенью и зимой воды гораздо меньше, чем весной.

Если для приближенной оценки принять, что летняя выработка в заливе компенсирует зимнее потребление электроэнергии по расходу топлива, в итоге окажется, что все теплоснабжение региона будет осуществлено без затрат топлива – только за счет солнечной энергии.

Наличие действующих тепловых электростанций, которые должны работать только в базовом постоянном режиме, не противоречит применению рассматриваемой схемы, поскольку и прямой и обратный циклы весьма маневренны. Температура их невысока, и отсутствуют массивные детали, требующие длительного прогрева.

С экологической точки зрения, реализация проекта представляет собой один из наилучших способов энергоснабжения, т. к. полностью исключает горение органического топлива летом, и снижает его до минимума зимой. Проект свободен от риска аварий, поскольку температура и давление рабочего тела не превышают 100 °С и 30 кгс/см².

Как показали подобные расчеты шведских и финских авторов, солнечный пруд с ТН способен эффективно аккумулировать и выдавать тепло при минимальной температуре 20 °С даже на 60-й параллели. При замерзании верхнего слоя поверхности зимой следует кромку ледяной поверхности рассматривать как коллектор со стеклянным покрытием и осуществлять расчёты пропускной способности замёрзшей кромки. При средней плотности притока солнечной теплоты в отводимый нагретый рассол 75 Вт/м², плотность потока используемой энтальпии (произведение плотности рассола – 1500 кг/м³, его скорости в трубе составляет 1 м/с, теплоемкости – 2,3 кДж/кг·°С и перепада температуры 10 °С) составляет 3,5·10⁷ Вт/м². Отсюда видно, что сопротивление гидродинамической концентрации повышает плотность потока энергии более чем на пять порядков, т. е. в сотни тысяч раз.

Способность к совершению работы характеризуется не потоком энергии, а потоком эксэргии и поэтому следует обратить внимание на концентрацию эксэргии солнечным прудом [6].

Плотность потока эксэргии солнечного излучения ненамного ниже плотности энергии (примерно вдвое), так что его можно оценить средней величиной $\delta_0 = 100$ Вт/м². Это подводимая к пруду эксэргия. Отводимой является эксэргия горячего рассола, оцениваемая только по его температуре, т. е. термическая, а не химическая эксэргия. При температуре горячего рассола 100 °С и температуре холодного источника 10 °С имеем:

$$\delta_3 = 3,5 \cdot 10^7 \cdot (100 - 10) / (100 + 273) = 0,93 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

Отношение плотностей потоков подводимой и отводимой эксэргии:

$$\lambda = \delta_3 / \delta_0 = 10^7 / 10^2 = 10^5 \text{ [6].}$$

Иными словами, при отводе горячего рассола мы получаем гидродинамическую концентрацию потока эксэргии – в сто тысяч раз большую. Плотность потока эксэргии в горячем рассоле много выше, чем при передаче энергии от горячих газов в хвостовых частях котельного агрегата, и выше, чем

в океанских тепловых электростанциях. Поэтому солнечный пруд является наиболее эффективным ВИЭ благодаря высокой концентрации эксергии и поэтому ему уделяется так много внимания [6].

Критическим сечением для потока энергии остаются теплообменники, в которых удельный тепловой поток составляет около 10^4 Вт/м².

Удельная масса крупных теплообменников вода – фреон составляет 45 кг/м² для высокого давления и 20 кг/м² – для низкого. Следовательно, для КПД = 0,1 их масса на 1 кВт электрической мощности составит $(45 + 20)/(0,1 \cdot 10) = 65$ кг/кВт. Масса компрессоров, турбины, насосов, паропроводов относительно невелика, и в сумме можно принять удельную массу оборудования:

$$m = M/N_e = 100 \text{ кг/кВт} = 0,1 \text{ кг/Вт}.$$

Для оценки срока энергетической окупаемости ($t_{ок}$) приравняем количество сэкономленного за счет работы солнечной электростанции топлива $(N_{ок}/\eta)t$ и затраты топлива на создание оборудования массой М: М·Э. Здесь η – КПД замещаемой ТЭС; Э – удельная энергоемкость оборудования (для стали 80 МДж/кг). Отсюда $t_{ок} = \eta m \mathcal{E} = 0,4 \cdot 0,1 \cdot 80 \cdot 10^6 = 3,2 \cdot 10^6 \cdot c \approx 0,1$ года. Срок этот существенно меньше всего срока службы, следовательно, он может возместить затраты энергии на оборудование. Однако затраты энергии на трубопроводы могут быть очень велики, поэтому предпочтение отдается керамическим трубам, обычно применяемым в системах орошения [7].

Следует отметить, что во многих проектах рекомендуется применять не фреон, а изобутан – легкодоступную фракцию нефти или природного газа. Тогда возможно использование контактного теплообменника, в котором струи горячего рассола непосредственно контактируют с жидким изобутаном и испаряют его.

По сравнению с обычными ТЭС по металлоемкости оборудования прудовая солнечная электростанция проигрывает немного, ибо удельная масса пылеугольных энергетических котлов составляет 30 кг/кВт. Если же учесть все затраты металла, а значит, и энергии на топливный цикл, и транспорт топлива, то преимущество прудовой электростанции по этому критерию налицо.

Интересные данные приводятся по естественным антарктическим солнечным соляным озерам, которые могут лечь в основу разработки технологии вывода (прогрева) солнечного пруда после зимней «спячки» в России.

По результатам исследований новозеландских ученых К. Уэллмана и А. Уилсона, озеро Ванда (Антарктида) прогревается за счет лучистой энергии Солнца до самого дна на глубину 70 м через прозрачный лед толщиной 4 м [2]. Температура воды у дна составляет 27 °С или на 47 °С больше среднегодовой температуры воздуха. Объяснить то, что называют феноменом Антарктиды, можно так. Известно, что коротковолновая солнечная радиация сравнительно хорошо проходит через атмосферу, содержащую водяные пары. Достигнув земной поверхности, она преобразуется в длинноволновую, которая на обратном пути уже поглощается, хотя и не полностью, атмосферой. Атмосфера служит как бы ловушкой для солнечной энергии. Это явление хорошо известно под названием парникового эффекта. Благодаря ему фактическая средняя температура поверхности Земли на 18 °С выше, чем она была бы без атмосферы.

А теперь посмотрим, что происходит с солнечной энергией на озере Ванда. На поверхности озера снега нет из-за сильного ветра и высокого испарения. Поэтому коротковолновая солнечная радиация практически беспрепятственно проникает через очень прозрачный лед и воду, и нагревает дно почти так же, как и окружающее озеро скалы. От дна отражается уже длинноволновая радиация, которая почти вся поглощается водой, нагревая её. А поскольку озеро не вскрывается ото льда, то ветер не перемешивает воду. Не перемешивается она и под влиянием тепловой конвекции, т. к. нагретая у дна вода очень соленая и оказывается все же тяжелее верхней холодной, но пресной воды [3].

На примере озер Антарктиды подтверждается колоссальная роль вынужденной конвекции в энергии и массообмене. Действительно, в районах сезонного промерзания верхних слоев озёр на горных перевалах в неглубоких поверхностных водоёмах, вода подледит покрыта ледяной кромкой, где происходят стратификации в температуре и в химическом составе воды. Наличие ледяного покрова препятствует воде перемешиваться конвективным путем под влиянием ветра. При наличии круглый год ледяного покрова, условий для вынужденной конвекции нет. Перемешивание происходит только под влиянием свободной (тепловой) конвекции, но лишь на первых порах, пока из-за расслоения вод по минерализации (гравитационного, например) вода нижних слоев не окажется настолько тяжелой, что не сможет подниматься вверх даже при нагревании на десятки градусов выше, чем верхние пресные слои воды. Примечательно, что несмотря на колоссальные градиенты концентрации и температуры, возникающие в таких условиях, роль молекулярной и тепловой диффузии вместе взятые остается настолько ничтожной, что они не могут привести к миграции химических ингредиентов из донных слоев воды в верхние, и к выравниванию минерализации в толще озерной воды [8].

Тепловую энергию солнечных солевых прудов можно использовать и преобразовывать в теплоту более высокой температуры. Важнейшая особенность применения данного вида оборудования – его универсальность по отношению к используемой низкопотенциальной энергии. Это позволяет оптимизировать топливный баланс энергии–источника, заместив менее дефицитными энергоресурсами. Дополнительно на отдельных участках для повышения эффективности рекомендовано использовать тепловой насос или тепло-насосную установку, которые формально не вырабатывают тепловой энергии. Тепловой насос перекачивает теплоту с низкого температурного уровня на потребительский температурный уровень и позволяет использовать низкопотенциальное (с невысокой температурой), т. н. «бросовое тепло», которое без теплового насоса использовать нельзя. Универсальность по отношению к виду первичной энергии является важнейшей особенностью. Сырьё для работы соляных прудов будет поставляться от опреснения соляных источников воды и бытовых городских отходов – смесь хлоридов магния и натрия.

Подводя итог изложенному выше, следует сделать вывод, что на территории Кыргызстана и, в частности, на высокогорных перевалах имеются предпосылки для создания электростанций на основе солнечных соляных прудов, которые могут внести значимый вклад в топливо-энергетическую безопасность отдалённых регионов страны.

Поступила: 07.10.24; рецензирована: 20.10.24; принята: 22.10.24.

Литература

1. Аккозиев И.А. Возобновляемые источники энергии: учебник: в 2 ч. Ч. 1: Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики / И.А. Аккозиев, В.В. Кириллов, М.К. Торопов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019.
2. Аккозиев И.А. Возобновляемые источники энергии: учебник: в 2 ч. Ч. 2: Энергетические сооружения и оборудование нетрадиционной и возобновляемой энергетики / И.А. Аккозиев, В.В. Кириллов, М.К. Торопов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019.
3. Осадчий Г.Б. Энергосбережение и возможности установок и систем малой энергетики на базе солнечного соляного пруда. Проект «Альтернативная энергетика». Омск. URL: https://www.cleanenergo.ru/wp-content/uploads/files/knigi/solar_energ/G_B_Osadchii_vie.pdf.
4. Кириллов В.В. Солнечное опреснение воды в южной части озера Иссык-Куль / В.В. Кириллов, З.Д. Сейдакматова, А.А. Молдоканова // Вестник КРСУ. 2024. Т. 24. № 4. С. 81–88.
5. Кошкин Н.И. Справочник по элементарной физике / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. М.: Наука, 1988. 144 с.
6. Янтовский Е.И. Потоки энергии и эксергии / Е.И. Янтовский. М.: Наука, 1988. 144 с.
7. Иссык-Куль. Исландия. Канцеляризм / К.К. Эдельштейн. М.: Большая российская энциклопедия, 2008. С. 95.
8. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. М.: Главное управление геодезии и картографии при СМ СССР.