

Совместное использование солнечной энергии и холода малых водотоков

Осадчий Г. Б., инженер

Первоисточником гидроэнергии является солнечная энергия. Вода океанов и морей, испаряясь под действием солнечного излучения, конденсируется в высоких слоях атмосферы в виде капелек, собирающихся в облака. Вода облаков выпадает в виде дождя и снега. Круговорот воды в природе происходит под влиянием солнечной энергии, таким образом, кинетическая энергия движущейся в реках воды есть, образно говоря, освобожденная энергия Солнца.

Гидроэлектростанции (ГЭС) могут быть сооружены там, где имеются гидроресурсы и условия для строительства, что часто не совпадает с расположением потребителей электроэнергии. При сооружении ГЭС обычно предполагается решение комплекса задач, а именно: выработки электроэнергии, улучшение условий судоходства и орошения. При наличии водохранилищ ГЭС может быть целесообразно использована для работы в пиковой части суточного графика объединенной энергосистемы с частыми пусками и остановками агрегатов. Это позволяет агрегатам части атомных и тепловых станций работать в экономичном и безопасном режиме, снижая при этом удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии в энергосистеме.

Однако, при относительной экологической чистоте ГЭС огромные водохранилища представляют большую потенциальную угрозу.

По статистическим данным в большинстве случаев аварии плотин отмечаются в период их строительства или в начале эксплуатации — в течение 5 – 7 лет после наполнения водохранилища. За это время полностью проявляются дефекты производства работ, устанавливается фильтрационный режим и определяются деформации сооружения. Затем наступает длительный период — около 40 – 50 лет, когда состояние сооружения стабилизируется, и аварии маловероятны. После этого опасность аварий вновь увеличивается в результате развития анизотропии свойств, старения материалов и пр. Сейчас в России средний износ гидротехнических сооружений, определяемый сроком службы, на самых крупных российских ГЭС мощностью более 2000 МВт составляет 38 %, а по ГЭС мощностью от 300 до 2600 МВт — 45 %.

В зонах риска каждого крупного водохранилища (емкостью более 10 млн м³) расположено более 300 населенных пунктов с населением до 1 млн человек, а также многочисленные объекты экономики [1]

Несмотря на относительную дешевизну энергии, получаемой за счет гидроресурсов, доля их в энергетическом балансе постепенно уменьшается. Это связано как с исчерпанием наиболее дешевых ресурсов, так и с большой

территориальной емкостью равнинных водохранилищ. Считается, что в перспективе мировое производство энергии ГЭС не будет превышать 5 %.

Весной через створы существующих ГЭС проходит в среднем **60 % годового стока воды**. При этом от 10 до 25 % годового стока воды гидроэлектростанции сбрасывается вхолостую из-за отсутствия регулирующей емкости водохранилища. Это в первую очередь касается низконапорных плотин и турбин на реках Среднерусской равнины, так как в течение года и особенно во время весенних паводков заливаются слишком большие площади полезных земель.

Под стать размерам водохранилищ и площади сбора воды для них. Реки питаются водой с огромных площадей (таблица 1).

Таблица 1 – Данные о речном стоке отдельных стран мира

Страна	Площадь территории, млн км ²	Суммарный средний многолетний объем стока, км ³ /год	Удельная водность в среднем за год с 1 км ² , кВт (л/с)
Россия	17,075	4000	5,4 (7,4)
Бразилия	8,51	5300	8,8 (11,9)
США	9,36	2850	7,2 (9,8)
Канада	9,98	1500	17,7(24,0)
Китай	9,90	2600	6,1 (8,3)
Норвегия	0,32	368	26,3 (35,8)
Франция	0,551	343	14,5 (19,7)

Как видно из таблицы 1, удельная водность питающих реки водой бассейнов поразительно низкая, в то время как современная «ветровая ферма» в европейских климатических условиях может обеспечить генерацию **12 – 16 МВт** электроэнергии с 1 км² занимаемой площади.

В то же время при относительно низкой удельной водности малые поверхностные водотоки горных районов несут в себе много **холода**, который можно использовать в паросиловых (термодинамических) циклах для расширения интервала температур теплосилового цикла малых энергоустановок за счет снижения температуры нижней части цикла.

Как известно, чем южнее расположена та или иная территория, тем летом там жарче и труднее найти в достаточных объемах холода (холодной воды) для эффективной работы теплосилового цикла гелиоводомета, гелиоэлектростанции или гелиохолодильника. Исключения, как правило, составляют горные и предгорные области, где малые водотоки (ручьи, ручейки и родники), не представляющие никакого интереса для гидроэнергетики, протекая, уносят безвозвратно огромные объемы холода на равнинные территории.

Этот **холод малых водотоков** можно использовать, совместно с энергией солнечных соляных прудов, вместо **холода котлованов со льдом**, которые актуальны для равнинных территорий [2].

Для создания гелиоэнергетики, способной конкурировать с традиционной, также как и для геотермальной энергетики подходит идея нового, «холодного», направления в развитии теплоэнергетики.

«Холодное» направление непосредственно связано с привлечением научного задела и опыта, накопленного как в энергетике, так и в холодильных производствах, в том числе автором данной статьи [3, 4].

Представлено это направление д.т.н. Бродянский В.М. в следующем виде: «До последнего времени основным препятствием в сближении низкотемпературной техники и теплоэнергетики было традиционное применение воды в качестве единственно возможного и незаменимого рабочего тела на крупных электростанциях всех типов, как КЭС, так и ТЭС. Достоинство воды в отношении как термодинамическом, так и технико-экономическом хорошо известны.

Увеличение термического КПД паросилового цикла (преобразователя) может быть достигнуто, как известно из термодинамики, при прочих равных условиях только двумя путями. Первый их них — это повышение температурного уровня подводимого тепла, как в самом паровом цикле, так и посредством подключения «надстроек»: от МГД (магнитодинамических генераторов) до газовых турбин. Газотурбинный вариант оказался практически наиболее приемлемым и позволил поднять термический КПД электростанций примерно до 60 %.

Однако дальше «двигаться вверх» становится все труднее и дороже, тем более что незыблемым законом термодинамики каждый градус повышения температуры дает все меньший дополнительный энергетический эффект. В этой ситуации, естественно, представляется целесообразным идти по второму пути повышения КПД — расширить теплосиловой цикл «вниз». Здесь по тем же законам термодинамики «каждый градус все дороже», но термический КПД цикла растет при прочих равных условиях в результате его расширения «вниз» гораздо быстрее, чем при движении «вверх» (таблица 2).

Для нашей страны (и ряда других стран северного полушария), где температура окружающей среды в большинстве районов значительную часть года держится ниже 0 °С, такое расширение границ цикла диктуется природными условиями. По климатическим условиям, близким к России: Исландия, Северный Китай, Канада и северная часть США (Аляска).

Таблица 2 – Работа теплосилового (прямого) цикла Карно, Дж, при различных температурах источника (T_r) и приемника ($T_{o.c.}$) тепла

$T_r, ^\circ K$	$T_{o.c.}, ^\circ K$						
	300	290	280	270	260	250	240
1500	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84
1200	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80
1000	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76
800	0,62	0,64	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70
600	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,58	0,60

Из таблицы 2 следует, что во всех случаях — при высоких температурах подвода тепла T_r (1000 – 1500 °K) и относительно низких (800 – 600 °K) — отводимая работа при понижении $T_{o.c.}$ существенно возрастает. Важно, что наибольший рост наблюдается в циклах с более низким уровнем T_r . Так, для цикла с $T_r = 1500$ °K увеличение отводимой работы при $T_{o.c.} = 240$ °K по сравнению с $T_{o.c.} = 300$ °K составляет примерно 5 %, а при $T_{o.c.} = 250$ °K около 4 %; в цикле с $T_r = 1000$ °K увеличение работы при том же изменении $T_{o.c.}$ существенно больше: примерно 8 и 7 % соответственно

Самое значительное увеличение термического КПД (около 16 %) соответствует относительно невысокой температуре T_r , равной 600 °K. Этот факт заставляет задуматься над некоторыми практическими возможностями реализации таких циклов в теплоэнергетике.

На рисунке 1 приведены схемы возможных вариантов использования низких температур окружающей среды и температурные интервалы соответствующих циклов.



а – варианты теплосилового цикла; б – верхний и нижний рабочие интервалы температур

Рисунок 1 – Схема вариантов использования низких температур окружающей среды $T_{o.c.}$ в теплосиловом цикле.

Всякое расширение интервала температур теплосилового цикла, теоретически ведущее при прочих равных условиях к повышению его термического КПД, связано с необходимостью увеличения отношений давлений испарения и конденсации.

Возможности уникального в этом отношении вещества — воды — в современной теплоэнергетике, практически исчерпаны. Поэтому на верхнем, «горячем», участке цикла часть перепада температур используется уже вне парового цикла, например, в газовой турбине. У современных атомных и геотермальных электростанций (по самой их природе) верхняя температура рабочих циклов ограничена, поэтому никаких других реальных возможностей существенного расширения температурного интервала работы пароводяных циклов у этих электростанций в обозримой перспективе нет.

Что касается нижней части цикла, необходимость в высоком вакууме исключает использование воды как рабочего тела при температурах, даже приближающихся к нулю, не говоря о более низких. Поэтому современная «большая» теплоэнергетика вынуждена пока работать в условиях, диктуемых

свойствами воды. Между тем «расширение» интервала температур работы тепловых электростанций остается в числе актуальных проблем повышения эффективности теплоэнергетики. И здесь есть только один путь — «вниз». Его определяют не только законы термодинамики, но и климатические условия, как России, так и некоторых других стран.

Попытки использовать в теплоэнергетике другие рабочие тела, например, некоторые из применяемых в холодильной технике, рассматривались до последнего времени большинством специалистов-энергетиков как экзотика, хотя изредка и обсуждались в литературе.

Однако тематика обсуждения не выходила за рамки классических температур теплосилового цикла без какого-либо учета возможности и целесообразности переноса его нижней границы в область, близкую к нулю, и тем более — в область отрицательных температур. Для «водяной» теплоэнергетики это невозможно. Кроме того, возникают проблемы, пугающие кажущейся сложностью, главная из которых состоит (кроме выбора рабочего тела) в непостоянстве (включая сезонность) температуры окружающей среды — воздуха.

Очевидный и основной положительный фактор, определяющий целесообразность создания низкотемпературных паросиловых установок (преобразователей) — отсутствие в системе вакуума: во всех точках системы, в том числе в конденсаторе поддерживается даже при самом «холодном» режиме давление, превышающее атмосферное. Это позволяет существенно уменьшить объемы и массу оборудования низкотемпературной части установки.

Низкотемпературная теплоэнергетика должна занять законное место в системе энергоснабжения нашей страны, и упускать связанные с ней возможности не следует» [5].

Аналитики Российского национального комитета Мирового энергетического совета также считают, что главным направлением научно-технического прогресса в электроэнергетике, работающей на ВИЭ, на современном этапе станет повышение КПД и снижение себестоимости производства энергии на энергетических установках малой и средней мощности. Повышение КПД это один из действенных инструментов уменьшения вредных выбросов на единицу произведенной энергии.

«Холодное» направление развития теплоэнергетики особенно актуально для индивидуальных малых гелиоустановок на базе солнечного соляного пруда [2, 3, 4], поскольку температурный уровень подводимого тепла к преобразователю энергии не превышает 100 °С.

Для выявления преимуществ охлаждения радиатора преобразователя холодной водой, определим по циклу Ренкина с рабочим телом — бутадиен-1,3 (дивинил) (C_4H_6) (температура кипения минус 4,47 °С при давлении 760

мм рт. ст.) по данным [6], КПД преобразователя при охлаждении его радиатора:

а) проточной (перекачиваемой) водой для интервала температур 80 – 30 °С: при $h'_1 = 570,32$ кДж/кг – энтальпия жидкого дивинила при 30 °С; $h''_1 = 950,22$ кДж/кг, $h''_2 = 1007,1$ кДж/кг – энтальпия пара дивинила соответственно при 30 и 80 °С.

$$\eta_b = (h''_2 - h''_1)/(h''_2 - h'_1) = 13,0 \%;$$

б) льдом для интервала температур 80 – 10 °С: при $h'_1 = 524,90$ кДж/кг – энтальпия жидкого дивинила при 10 °С; $h''_1 = 926,10$ кДж/кг, $h''_2 = 1007,1$ кДж/кг – энтальпия пара дивинила соответственно при 10 и 80 °С.

$$\eta_l = (h''_2 - h''_1)/(h''_2 - h'_1) = 16,8 \%.$$

Следовательно, КПД преобразователя за счет охлаждения его радиатора льдом повышается для дивинила в $\eta_l/\eta_b = 1,29$ раза.

В статье [3] приводятся данные предварительных расчетов энергии, вырабатываемой водометом (преобразователем энергии) за счет охлаждения его радиатора льдом/талой водой, и сравнение с энергией потока воды, приводящего в действие гидротурбину.

А в статье [4] приведена схема использования холода малых водотоков для солнечной энергоустановки (гелиоэлектростанции).

Понижение нижней границы термодинамического цикла рационально и практикуется для нормальной работы последней ступени цилиндра низкого давления турбины современной тепловой электростанции, установленному заводом-изготовителем (как правило, 0,12 кгс/см², что соответствует температуре насыщенного водяного пара 49,1 °С).

В качестве иллюстрации эффективности нетрадиционных подходов в различных областях энергосбережения приведем следующие примеры.

С низкими температурами связан необычный проект «Ночной ветер» (Night Wind). Он разрабатывается группой исследовательских организаций и университетов из Нидерландов, Дании, Испании и Болгарии. Проект призывает к созданию европейской системы хранения энергии, получаемой от ветроэлектрических установок (ВЭУ), в огромных складах-холодильниках.

Непостоянство ветровой энергии, вкупе с тем простым фактом, что ночью электропотребление заметно падает, а днем растет, подтолкнули европейских ученых к неожиданной идее: в качестве колоссальных аккумуляторов энергии, способных накапливать «электричество» от ВЭУ и в целом стабилизировать расход энергии в сети, могут выступить гигантские склады-холодильники, расположенные по всему Старому свету.

Идея довольно проста и, главное, никаких особых изменений в существующих системах не требует. Просто ночью, когда потребление электричества падает, а ВЭУ продолжают работать как обычно (не останавливать же лопасти), их мощность должна направляться на то, чтобы

понизить на один градус температуру в этих холодильниках. Всего на один градус против обычной нормы.

Таким образом, энергия запасается в виде холода тысяч и тысяч тонн разнообразных продуктов, спокойно лежащих где-нибудь в Дании, Голландии или Франции. Днем же, когда потребление электричества растет, все эти гигантские холодильники можно выключить, позволив температуре постепенно подняться на один градус, т. е. вернуться к практикуемой технологической норме.

Если это будет применено во всех крупных холодильных складах Европы, то по расчетам авторов проекта это эквивалентно появлению в общей энергосети аккумулятора емкостью в 50 млн. кВт·ч!

К неоспоримым плюсам этого проекта относится также то, что при работе ночью холодильных машин у них выше эффективность, т. к. охлаждающий конденсаторы воздух летней ночью имеет более низкую температуру, чем днем **на 10 – 15 °С**.

А к низкотемпературной энергетике относится немецкий солнечный водяной насос. Водяной насос Sunpulse Water, работающий от энергии Солнца, создан в немецкой компании Sunvention. Инженеры компании стремились избежать лишней преобразований энергии, чреватых её потерями, а поэтому для привода насоса использовали низкотемпературный двигатель Стирлинга, преобразовывающий тепловую энергию Солнца в механическую энергию движения. Насос включает двухметровый зонтичный солнечный коллектор, передающий тепло цилиндру двигателя Стирлинга. В качестве рабочего тела двигателя служит обычный воздух при атмосферном давлении. Он нагревается Солнцем (температура доходит до 100 °С и выше), а охлаждается — перекачиваемой водой. Колебания поршня с частотой 30 – 40 раз в минуту передаются поршневому насосу. Для поворота зонтичного коллектора предусмотрено маховое колесо. Насос Sunpulse Water способен поднимать воду из колодца с глубины до 100 м или закачивать её вверх на такую же высоту. Создавая напор 10 м, насос в сутки перекачивает до 80 тыс. литров воды. Если увеличить напор до 50 м, производительность снизится до 15 тыс. литров в сутки. В ходе тестирования перед началом производства насос наработал свыше 1000 ч [7].

Таким образом, даже такие «бросовые» с традиционной точки зрения энергетические ресурсы, как малые водотоки (речушки и ручейки) горных местностей, могут стать хорошим подспорьем в повышении энергетической эффективности гелиоустановок и систем с термодинамическими циклами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шелестов С.И. КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ гидротехнических сооружений // Академия Энергетики. 2010. № 4. С. 4 – 8.

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

3 Осадчий Г.Б. Гелиоводомёт с солнечным соляным прудом // Промышленная энергетика. 1996. № 9. С.46-48.

4 Осадчий Г.Б. Солнечная энергоустановка для горной местности // Промышленная энергетика. 1998. № 1.

5 Бродянский В.М. Повышение эффективности атомных и геотермальных электростанций посредством использования низких температур окружающей среды// Теплоэнергетика.– 2006.– № 3.– С. 36 – 41.

6 Ваграфтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.

7 Солнечный насос // Корпоративная газета ОАО «Лукойл» Энерговектор. 2012. № 2. С.13.

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.