

УДК 664.8

Л.Ф. Смирнов

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, Одесса, 65026

СУТОЧНАЯ И СЕЗОННАЯ РАЗНОСТЬ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Предлагается новый подход к использованию суточной и сезонной малой разности температур воздуха, а также солнечной энергии для круглогодичной выработки электроэнергии. Используются подземные аккумуляторы тепла и холода, позволяющие расширить температурный интервал теплосилового цикла, а также осуществить самоциркуляцию теплоносителей, обеспечивающих подвод - отвод тепла в испарителе - конденсаторе теплосилового установки. Новая технология применима для электростанций мощностью 100÷1000 кВт и особенно пригодна для производства электроэнергии в сельских местностях, удаленных от централизованных сетей электро и газоснабжения.

Ключевые слова: Электроэнергия – Производство – Малая разность температур – Аккумуляция тепла и холода.

Л.Ф. Смірнов

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65026

ДОБОВА ТА СЕЗОННА РІЗНИЦЯ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Пропонується новий підхід до використання добової і сезонної малої різниці температур повітря, а також сонячної енергії для цілорічного вироблення електроенергії. Використовуються підземні акумулятори тепла і холоду, що дозволяють розширити температурний інтервал теплосилового циклу, а також здійснити самоциркуляцію теплоносіїв, що забезпечують підведення-відведення тепла в випарнику-конденсаторі теплосилової установки. Нова технологія може бути застосована для электростанцій потужністю 100 ÷ 1000 кВт і особливо придатна для виробництва електроенергії в сільських місцевостях, віддалених від централізованих мереж електро та газопостачання.

Ключові слова: Електроенергія – Виробництво – Мала різниця температур – Акумуляція тепла і холоду.

L.F. Smirnov

Odessa National Academy of Food Technologies, Dvoryanskaya st., 1/3, Odessa, 65026

DAILY AND SEASONAL TEMPERATURE DIFFERENCE FOR ELECTRICITY PRODUCTION

A new approach is proposed to the use of daily and seasonal air temperature minor difference as well as solar energy for the year-round electricity generation. underground heat and cold accumulators that allow to extend the temperature range for thermal power cycle and self-circulation coolants for heat-supply in the evaporator-condenser heat powered installation are used. The new technology is applicable to power plants with 100 ÷ 1000 kW capacity and is especially suitable for the production of electricity in the rural areas, which are distant from the centralized networks of electricity and gas supply.

Key words: Electricity – Production – Small temperature difference – Accumulation of heat and cold.

I. ВВЕДЕНИЕ

Термическая неоднородность окружающей среды уже предлагалась [1] и использовалась в небольших масштабах [2] для выработки электроэнергии. В основном рассматривалась идея Клода и Бушера о разности температур морской воды по глубине моря [1,3]. Привлекательности якобы «даровой» энергии противостоят значительные

недостатки при технической реализации электростанции. Малая разность температур тепловых источников и необходимость подачи больших расходов теплоносителей (воды или воздуха) в теплообменные аппараты приводит к низкой эффективности теплосилового цикла, большим капитальным затратам на сооружение основных аппаратов теплопередачи – испарителя и конденсатора, а также большим собственным расходам

энергии на прокачку теплоносителя через эти аппараты.

Необходим новый подход к решению этой проблемы. Температуры воздуха днем и ночью всегда, везде и независимо от сезона года отличаются на $6 \div 10^{\circ}\text{C}$. При использовании даже самого простого солнечного коллектора разность температур даже при пасмурной погоде возможно увеличить до $20 \div 40^{\circ}\text{C}$.

Идея повышения эффективности использования природной температурной неравновесности заключается в том, чтобы за счет ночного и/или зимнего холода «накопить холод», а днем и/или летом «накопить тепло», затем за счет холода превращать газ в сгущенное состояние при низком давлении путем перевода его в жидкость (например, н-бутан) или в газовые гидраты (например природного газа) или в адсорбированное состояние (например, метан), а затем в любое время этот сгущенный газ выплавлять при высоком давлении за счет накопленного дневного или летнего сезонного тепла, а затем полученный газ расширять в турбине с выработкой электроэнергии.

II. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Предлагаемая электростанция (ЭС) состоит из турбины, электрогенератора, насоса жидкого бутана, теплообменника, испарителя и конденсатора, использующих тепло и холод двух тепловых источников – аккумуляторов тепла АТ и холода АХ (рисунок 1). ЭС использует суточную и сезонную разность температур воздуха, а также солнечную энергию. Прямой теплосиловой цикл на бутане использует два источника тепла. Холодный тепловой источник – льдоводяная суспензия – зимой, или охлажденная ночью вода с температурой $10 \div 20^{\circ}\text{C}$ – летом. Горячий тепловой источник – вода, нагретая солнцем до $55 \div 60^{\circ}\text{C}$ в солнечном бассейне СБ.

Холод и тепло аккумулируют в подземных аккумуляторах АХ и АТ. Для уменьшения объема этих подземных емкостей целесообразно использовать холодо и теплоаккумулирующие материалы, претерпевающие фазовый переход плавление - затвердевание – кристаллогидраты неорганических солей и парафины. Жидкий н-бутан испаряют в испарителе, размещенном в аккумуляторе тепла АТ, затем расширяют в турбине с выработкой работы (и затем электроэнергии), затем его направляют в конденсатор, размещенный в аккумуляторе холода АХ, сжижают там, и затем закачивают насосом жидкого н-бутана обратно в испаритель.

Учитывая не совсем удачный опыт даже последних разработок электростанций, например, в США и Японии, использующих малую разность температур морской воды по глубине моря, в нашем предложении сделаны следующие усовершенствования:

1. Использовано сочетание суточной и сезонной разности температур воздуха, что позволило:

- расширить температурный интервал теплосилового цикла примерно на $20 \div 40^{\circ}\text{C}$ и даже до $30 \div 50^{\circ}\text{C}$;
- обеспечить круглогодичную работу электростанции днем и ночью и при любой погоде.

2. Применены аккумуляторы тепла АТ и холода АХ, сглаживающие тепловую неравномерность мощностей зарядки и разрядки тепловых источников, обеспечивая их более экономичную работу. Применение аккумуляторов фазового перехода уменьшает капитальные затраты на АТ и АХ.

3. Испаритель и конденсатор погружены непосредственно в большие водные подземные емкости АТ и АХ. Н-бутан испаряется/конденсируется при постоянной температуре, а вода с наружной стороны поверхности теплообмена незначительно изменяет свою температуру ввиду большого водного объема, чем обеспечивается постоянная небольшая разность температур АТ на теплопередачу и меньшая необратимость.

4. АТ и АХ разделены на 2 части: одна часть – скважины – собственно накопители тепловой энергии, другая часть – подземные емкости – служат для повышения эффективности теплопередачи в погружных испарителе и конденсаторе.

5. Для уменьшения работы пампинга (т.е. работы перекачки воды между скважинами и подземными емкостями АХ и АТ, а также между генераторами теплой воды и ледяной воды зимой /холодной ночной воды летом/ и подземными емкостями) используют по возможности эффект самоциркуляции воды в этих сообщающихся полностью затопленных «сосудах» одинаковой высоты, а в тех случаях, когда это невозможно, минимизируют расход энергии на работу насосов, уравнивая высоты подачи и слива воды.

Аккумулятор холода АХ состоит из 3-х элементов:

1. Холодной подземной емкости 10 (стенки забетонированы, гидроизолированы, но не теплоизолированы), полностью затопленной, расположенной, например, под холодильником 20. Зимой в ней накапливают льдоводяную суспензию из льдогенератора ЛГ 17. Летом в нее поступает вода, охлажденная ночью в ЛГ. В емкости размещены пакетированные аккумуляторы фазового перехода (кристаллогидраты $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, имеющие температуру фазового перехода $+2^{\circ}\text{C}$) и в ее нижней части конденсатор бутана 6.

2. Группы скважин холода 14 глубиной 100 м, пробуренных на расстоянии около $10 \div 15$ м друг от друга. Через эти скважины (конструкция, например - «труба в трубе») прокачивают зимой ледяную воду из 10. Охлаждение грунта вокруг скважин происходит за $1,5 \div 2$ года. Летом прокачкой воды через скважины, а затем в ем-

кость 10 в последней обеспечивают возврат аккумулярованного холода.

3. Льдогенератора ЛГ, в котором путем контакта воды с холодным воздухом зимой готовят льдоводяную суспензию [4], а летом в ночное время – охлажденную до $10\div 15^{\circ}\text{C}$ воду.

Подземный АХ через скважины заряжают в течение зимних 3-х мес. Емкости 10 летом подзаряжают холодом с помощью ночного холодного воздуха и ЛГ.

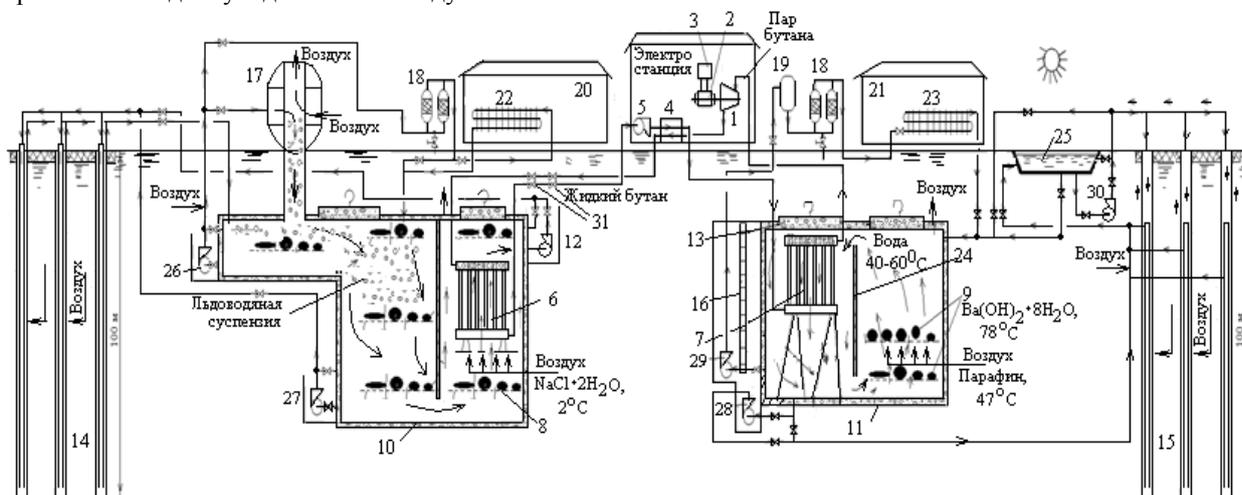


Рисунок 1 – Схема миниэлектростанции для выработки электроэнергии за счет суточной и сезонной разности температур воздуха и солнечной энергии.

1 – турбина; 2 – электрогенератор; 3 – электроаккумулятор; 4 – теплообменник; 5 – насос жидкого бутана; 6 – конденсатор; 7 – испаритель; 8 – холодоаккумулирующий материал; 9 – теплоаккумулирующий материал; 10 – холодная подземная емкость; 11 – теплая подземная емкость; 12, 26-30 – водяные насосы; 13 – подъемный люк для обслуживания; 14 – скважины аккумулятора холода; 15 – скважины аккумулятора тепла; 16 – лестница для обслуживания насосов; 17 – льдогенератор; 18 – фильтры; 19 – емкость напорная; 20 – холодильник; 21 – теплица; 22 – охладитель; 23 – обогреватель; 24 – перегородка для циркуляции воды; 25 – солнечный бассейн; 31 – вентили разъема при подъеме конденсатора для очистки.

Аккумулятор тепла АТ также состоит из 3-х элементов:

1. Солнечных бассейнов СБ 25 глубиной до 0,8 м, расположенных на поверхности земли, тепло и гидроизолированных, с окрашенными в черный цвет дном и боковыми стенками, покрытых крышкой из двухслойного боросиликатного тонкостенного стекла (щель – под вакуумом с ребрами жесткости), наполненных водой или соленым раствором.

2. Теплой подземной емкости 11 (стенки бетонированы, гидроизолированы, но не теплоизолированы), расположенной под СБ. В этой емкости летом и зимой накапливают теплую воду из СБ. В емкости 11 размещены пакетированные аккумуляторы фазового перехода ($\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, парафин - температуры фазового перехода 78°C и 47°C соответственно) и в ее верхней части испаритель бутана 7.

3. Группы скважин тепла 15 глубиной 100 м. Через них прокачивают теплую воду из емкости 11 и СБ. Грунт вокруг скважин нагревают в течение 1,5-2 лет. Зимой прокачкой воды через скважины в емкости 11 обеспечивают возврат аккумулярованного тепла.

Для увеличения коэффициента теплоотдачи на внешней стороне поверхностей теплообмена

испарителя и конденсатора создают условия для усиления циркуляции воды в АТ и АХ.

В АХ конденсатор пара бутана 6 расположен в нижней части подземной емкости 10 с расчетом подъема воды при ее отоплении (при $T > 4^{\circ}\text{C}$) и уменьшении ее плотности. Вода, поднимаясь, омывает трубки конденсатора, интенсифицируя теплоотдачу. Вода отбирается из верхней сферы конденсатора (примечание: при температуре подвода воды под конденсатор меньшей, чем 4°C отсос /в этом случае – насосом 12/ должен преодолеть увеличение над конденсатором плотности воды). Перегородка отделяет полости – левую, в которой вода опускается, и правую, в которой вода поднимается при уменьшении ее плотности. Мощность охлаждения увеличивается за счет плавления холодоаккумулирующего материала ХАМ, в качестве которого может быть $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

ЭС работает следующим образом. Жидкий бутан испаряют в испарителе 7, размещенном в подземной теплой емкости 11, потом расширяют в турбине 1 с выработкой работы (и затем электроэнергии), потом его направляют через теплообменник 4 в конденсатор 6, размещенном в подземной холодной емкости 10, конденсируют там и

потом закачивают насосом 5 обратно в испаритель 7.

В солнечном бассейне СБ 25 вода в светлое время подогрывается солнцем до $60\div 70^{\circ}\text{C}$ летом и до $40\div 50^{\circ}\text{C}$ зимой, потом вода направляется в скважины 15 или в подземную теплую емкость 11. Тепло (точнее, внутренняя энергия) накапливается как в емкости 11 (теплая вода, твердотельные аккумуляторы 9), так и в грунте вокруг скважин 15. Обвязка схемы обеспечивает любую требуемую комбинацию. Если ЭС обслуживает, например, агротепличный комплекс, то накопленное тепло можно использовать и для подогрева теплиц путем циркуляции теплой воды (насос 29) через обогреватель теплиц 23.

В ЛГ 17 вода, которая направляется к нему насосом 26, охлаждается и замораживается путем контакта с холодным воздухом (зимой - температура $0\div -30^{\circ}\text{C}$). Конструкция ЛГ приведена в [4]. Полученная льдоводяная суспензия по центральной трубе сливается в верхнюю часть емкости 10. Потом вода направляется (самотеком и/или насосом 12) в скважины 14 для накопления холода в грунте, в котором находятся эти скважины. Если ЭС обслуживает, например, агротепличный комплекс, то накопленный холод можно использовать и для охлаждения холодильника 20 путем циркуляции холодной воды (насос 26) через охладитель 22.

Погружные конденсатор-испаритель секционированы. Секции имеют змеевики для конденсации-испарения бутана. Для работы в коррозионно-агрессивной среде змеевики изготавливают из легированной стали или латуни. Коэффициенты теплопередачи – около $0,1\div 0,15$ кВт/м²град. Достоинство погружных конденсаторов – испарителей - простота устройства и эксплуатации, надежность конструкции, большой запас воды, гарантирующий безаварийную работу при временном прекращении подачи воды, и сравнительная легкость очистки поверхности труб от отложений и прочих загрязнений. Но они громоздки и требуют для размещения больших площадей, для ЭС мощностью $200\div 300$ кВт поверхность охлаждения $300\div 800$ м², длина около $8\div 10$ м, высота около 4 м, ширина около 2 м и масса соответственно $20\div 50$ т. При механической очистке верхние люки 13 емкостей 10 и 11 раскрывают, секции вынимают, отложения на поверхности труб сбивают и удаляют скребками. Для уменьшения накопления отложений предусмотрена очистка циркуляционной воды в фильтрах 18.

ПРИЕМЫ САМОЦИРКУЛЯЦИИ – нагрев и охлаждение колен, нагрев и охлаждение колен по высоте колена, подача пузырьков газа в низ одного колена, комбинирование вышеприведенных приемов, необходимое для усиления эффекта циркуляции ввиду малой разности плотностей воды при изменении ее температуры.

Примечание: хорошо известно купающимся в море – весьма малая разность плотностей воды при изменении ее температуры на $5\div 10^{\circ}\text{C}$ не ме-

шает заметному температурно-ощутимому разделению слоев более теплой поверхностной и глубокой холодноватой воды (уже с глубины 1 м).

Классификация сообщающихся сосудов (СС):

1. С открытым верхом, не сообщающимся между коленами сосудов.

2. С сообщающейся между 2-мя коленами сверху перемычкой перелива. При разности плотностей жидкости в коленах - это одинарные самоциркуляционные сообщающиеся сосуды (ССС).

Примечание: Из уравнения СС

$$\rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B$$

следует, что для увеличения самоциркуляции нужно увеличить разность плотностей воды $\Delta\rho$ в коленах А и В, а также высоту этих колен h . Для воды при увеличении температуры в одном колене на 6°C (от 0 до 10°C), т.е. при очень небольшом уменьшении плотности (от 1000 кг/м³ при 4°C до $999,73$ кг/м³ при 10°C) для самоциркуляции в ССС высота колен должна быть не менее 100 м.

Примеры:

- При высоте колена А $h_A = 1$ м высота колена В будет $h_B = h_A \cdot \rho_A / \rho_B = 1 \cdot 1000 / 999,73 = 1,00027$ м, т.е. $\Delta h = 0,00027$ м или всего 0,027 мм;

- При высоте $h_A = 100$ м $h_B = 100 \cdot 1000 / 999,73 = 100,027$ м, т.е. $\Delta h = 0,027$ м или 27 мм, что уже достаточно для перелива воды в желобчатом (эллипсоидном) канале.

- При объемной доли воздуха в колене В 0,2%, $\rho_B = 1000 \cdot (1 - 0,002) + 1,3 \cdot 0,002 = 998$ кг/м³, высота колена В $h_B = 100 \cdot 1000 / 998 = 100,2$ м, т.е. $\Delta h = 0,2$ м или 200 мм, что достаточно для перелива воды в обычной трубе.

3. Сопряженные самоциркуляционные сообщающиеся сосуды (СССС) состыкованы в последовательность из 2 ÷ 4-х одинарных ССС. В этих ССССС водоподъемное колено первого ССС-1 соединено верхней частью с верхом водоопускного колена второго ССС-2, при этом водоподъемное колено этого второго ССС-2 соединено верхней частью с верхом водоопускного колена третьего ССС-3 и т.д. В каждом ССС создается из-за разности плотностей в коленах высота перелива и в целом в ССССС эффект перелива хоть и не намного, но возрастает. Теоретически

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \Delta h_i$$

АХ имеет 4 контура циркуляции (примем сопряжение систем ССССС - для опытной ЭС):

1. Главный – зарядки и разрядки скважин 14, самоциркуляционный между подземной емкостью 10 и скважинами 14, затопленными водой (затоплены и емкость и скважины) на одинаковую высоту. В этом контуре ССССС полностью обеспечивается использование эффекта самоциркуляции воды как при зарядке холодом скважин 14 (поток холодной воды справа налево), так и при разрядке холодом скважин 14 (поток холодной воды слева направо)

Таблиця 1 – В одинарных ССС при полном затоплении до уровня перелива возможны следующие варианты самоциркуляции воды:

Воздействие на колено В	Направление перелива воды при самоциркуляции	Воздействие на колено А	Воздействие на колено В	Направление перелива воды при самоциркуляции	Воздействие на колено А
1. Нет	<p>верх В ← верх А</p>	Нагрев воды при $T > 4^{\circ}\text{C}$ (если в колене А $T_{\text{воды}}$ выше, то ρ меньше, что повышает уровень воды по сравнению с уровнем в колене В и приводит к переливу воды из верха колена А в верх колена В).	7. Охлаждение воды	<p>верх В ← верх А</p>	Подача снизу пузырьков воздуха или газа
2. Охлаждение воды	<p>верх В ← верх А</p>	Нет	8. Охлаждение воды	<p>верх В ← верх А</p>	Нагрев воды + подача снизу пузырьков воздуха
3. Охлаждение воды	<p>верх В ← верх А</p>	Нагрев воды	9. Нет	<p>верх В ← верх А</p>	Разность температур по высоте колена А - снизу холод, выше - тепло
4. Нагрев воды	<p>верх В → верх А</p>	Охлаждение воды (противоречия здесь с п.3 нет, так как сосуды А и В сообщаются сверху и снизу и направление перелива из верха сосуда изменено на обратное!)	10. Разность температур стенок колена В по высоте - снизу холод, выше - тепло (при $T > 4^{\circ}\text{C}$)	<p>верх В → верх А</p>	Нет
5. Нет	<p>верх В ← верх А</p>	Подача пузырьков воздуха снизу (или газа) - эйрлифт	11. Разность температур стенок колена В по высоте - снизу тепло, выше - холод (при $T < 4^{\circ}\text{C}$)	<p>верх В → верх А</p>	Нет
6. Нет	<p>верх В ← верх А</p>	Нагрев воды + подача снизу пузырьков воздуха	12. Нет	<p>верх В → верх А</p>	Нагрев воды (при $T < 4^{\circ}\text{C}$)

Насосы 12 и 27 в этом контуре – только для очистки скважин при прокачке воды через них, а также для инициации самоциркуляции при переходе через точку инверсии плотности воды при 4°C . Параллельно установлены трубопроводы самоциркуляции.

Примечания:

- Самоциркуляция воды при зарядке грунта холодом в окрестности скважин 14 обеспечивается двумя парами ССС, соединенных последовательно (рисунок 2, левая часть):

1-ая пара - в емкости 10, от опускания холодной воды (при температуре большей, чем 4°C), полученной от ЛГ, в левой ее секции до подъема воды в правой секции (вариант самоциркуляции – 6, подвод тепла + воздуха);

2-ая пара - в скважинах 14, от опускания холодной воды в центральной водоопускной трубе скважины (при температуре большей, чем 4°C) до подъема воды в межтрубном водоподъемном пространстве (варианты самоциркуляции – 10 + 5).

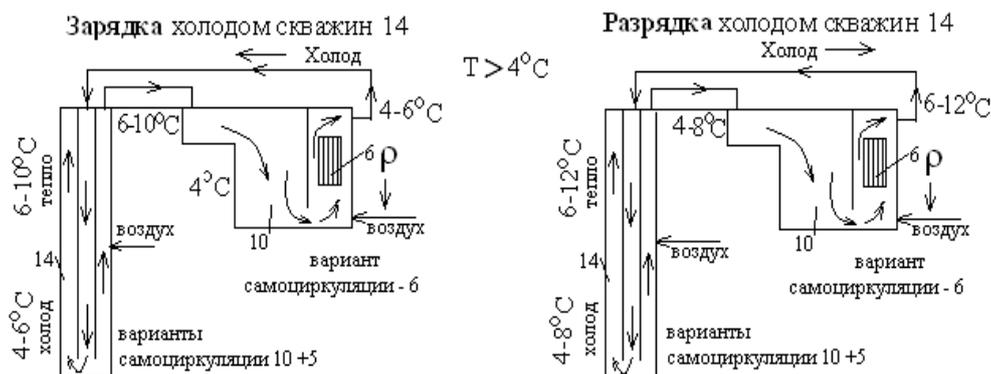


Рисунок 2 – Схемы зарядки и разрядки холодных скважин 14

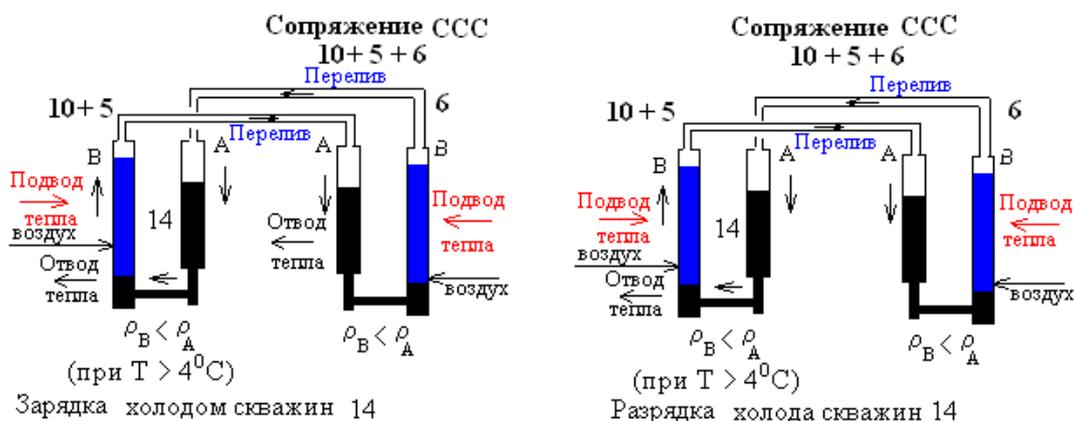


Рисунок 3 – Схемы сопряженной самоциркуляции СССС при зарядке холодом скважин 14 и их разрядки по рисунку 2 при одновременной работе ЭС (при $T > 4^{\circ}\text{C}$)

- Самоциркуляция воды при разрядке грунта в окрестности скважин 14 (Рис. 2 - правая часть) обеспечивается тем, что верхняя часть скважин теплее нижней части, так как холодная вода при зарядке подается в центральную трубу сверху (при температуре большей, чем 4°C), а скважины наиболее охлаждены своей внешней трубой снизу, также подается воздух (вариант самоциркуляции – 10+5).

- При температуре меньшей, чем 4°C самоциркуляция воды в скважинах 14 и емкости 10 изменяет свое направление. Самоциркуляция исчезает, если не будет эйрлифта, при переходе через точку инверсии плотности воды при 4°C , ввиду чего при этом переходе необходима подача воздуха или работа насоса 27.

- Зарядка и разрядка грунта скважин 14 при $T < 4^{\circ}\text{C}$ изображается на Рис.4 и 5. При охлаждении воды и накоплении ледяной суспензии в верхней части емкости 10 эффект самоциркуляции при зарядке увеличивается ввиду уменьшения плотности льда.

2. Внутренний, самоциркуляционный (при $T > 4^{\circ}\text{C}$) между левой и правой частями подземной емкости 10 (вариант самоциркуляции – 6). Правая часть, в которой расположены трубки конденсатора 6, имеет меньшую площадь поперечного сечения для увеличения скорости подъема воды и увеличения коэффициента теплопередачи в конденсаторе.

3. Зарядки емкости 10, минимально насосный, между льдогенератором ЛГ 17, расположенном над левой частью подземной емкости 10, и этой же частью 10. Обеспечивается при работе ЛГ насосом 26. Но напор насоса незначителен, поскольку как подающий трубопровод от насоса 26, так и центральная труба ЛГ, по которой вниз в емкость 10 стекает льдодляная суспензия, полностью затоплены водой и суспензией. Чтобы плавающий лед в верхней левой части 10 не блокировал проток воды из скважин АХ, эта верхняя часть выполнена в виде расширенного льдопринимающего лотка. Летом при зарядке холодом в ночное время работа насоса 26 не нужна, а самоциркуляция обеспечивается эйрлифтом.

4. Разрядки емкости 10 /насос 26/ - для потребителя холодной воды, например, холодильника

ка 20, предназначенного для кратковременного хранения фруктово-овощного сырья - между левой частью емкости 10 и охладителем холодильника 22.

В обвязке АХ предусмотрены фильтры 18 для очистки воды от взвесей, а также насос 27 откачки воды из низа емкости 10 при ее ремонте и периодической очистке.

В АТ испаритель жидкого бутана 7 размещен в верхней части подземной емкости 11 с расчетом опускания воды при ее охлаждении. В смежном отсеке (справа на рис.1) расположены пакеты с ТАМ (теплоаккумулирующим материалом), при плавлении которого выделяется тепло и вода нагревается, становится легче и поднимается вверх. Насосы 28 и 29 отбирают воду из - под испарителя, способствуя турбулизации в области его трубок.

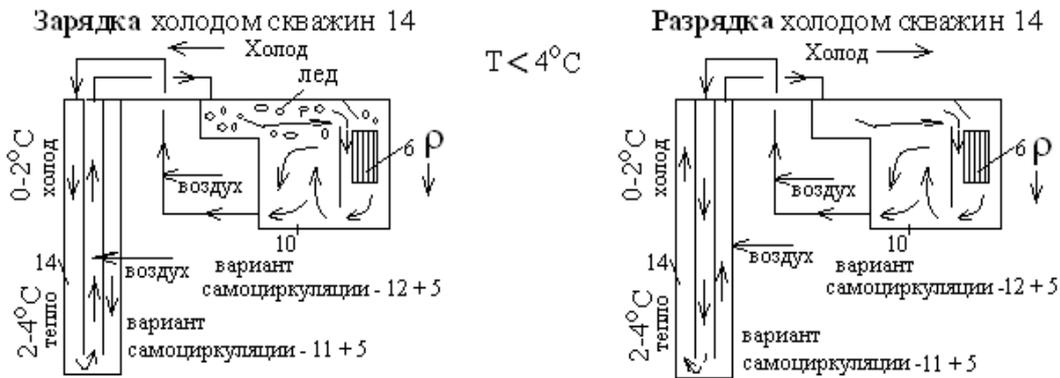


Рисунок 4 – Схемы зарядки и разрядки холодных скважин 14 (при $T < 4^{\circ}\text{C}$)

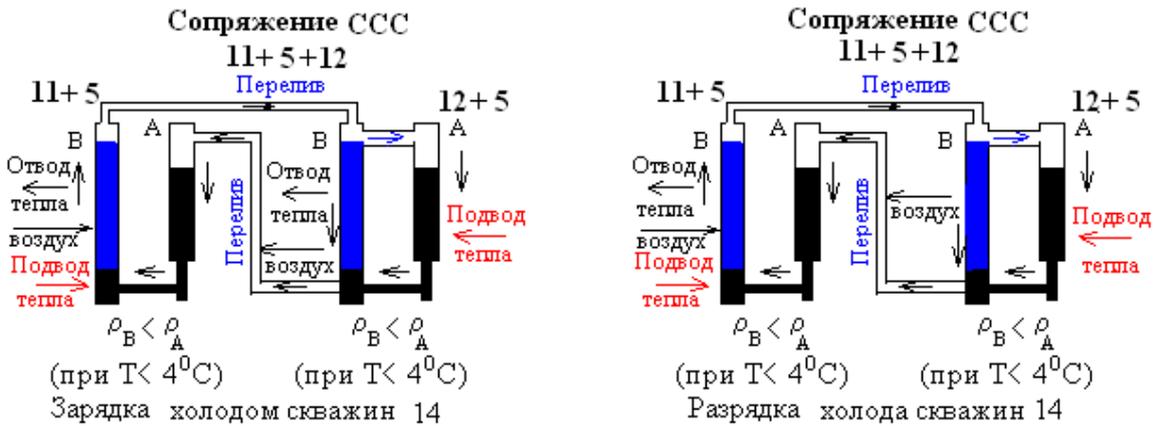


Рисунок 5 – Схемы сопряженной самоциркуляции CCCC при зарядке холодом скважин 14 и их разрядки по рисунку 4 при одновременной работе ЭС (при $T < 4^{\circ}\text{C}$).

АТ также имеет 4 контура циркуляции (примем для опытной ЭС альтернативную систему циркуляции - одинарные ССС), каждый из которых имеет равные высоты левой и правой колен СС:

1. Главный – для долговременной зарядки (режим – самоциркуляционный) скважин 15 теплом (ак-

кумуляция тепла на $3 \div 6$ мес. работы ЭС) – между солнечным бассейном 25 и скважинами 15. В этом контуре ССС при переливе воды слева направо (см. рис.1 и 6) осуществляется самоциркуляции воды по варианту 8. Используют насос 30, предназначенный как резерв, а также для периодической прочистки труб скважин от отложе-

ний. Подачу теплої води виробляють в міжтрубні простора скважин 15, а виводять з глибини 1,5 м через центральні труби.

2. Головний для разрядки (самоциркуляційний) – для отдачі (разрядки) скважин 15 тепла і приєма його з теплою водою підземної ємкості 11. Самоциркуляція води відбувається по варіанту 8. Тепло отдає ґрунт навколо скважин – вода охолоджується в ємкості 11 при кипінні агента в іспарителі. Насос 28 використовують як резерв.

3. Допоміжний (самоциркуляційний) – для кратковременної зарядки підземної ємкості 11 теплом (на 0,5 ÷ 1 сутки) і забезпечення теплопотоку до іспарителю 7 – між сонячним басейном 25 і ємкістю 11. Самоциркуляція води –

по варіанту 8 (справа наліво – зображено на рисунках 1 і 4). Насос 29 використовують як резерв.

4. Внутрішній (самоциркуляційний по варіанту 7) – між лівой і правою частинами підземної ємкості 11. Ліва частина, в якій розташовані трубки іспарителю 7, має значно меншу площу поперечного сечення для прискорення опускання води і збільшення коефіцієнта теплопередачі (а також і за рахунок подачі повітря).

Вот, наприклад, характеристики одного з режимів роботи акумуляторів опытного ЭС мощностью 200 кВт на средних широтах Великой, Малой и Белой Руси при постоянной 100%-ной нагрузке ЭС (цикл теплосилового установки – на рисунке 8).

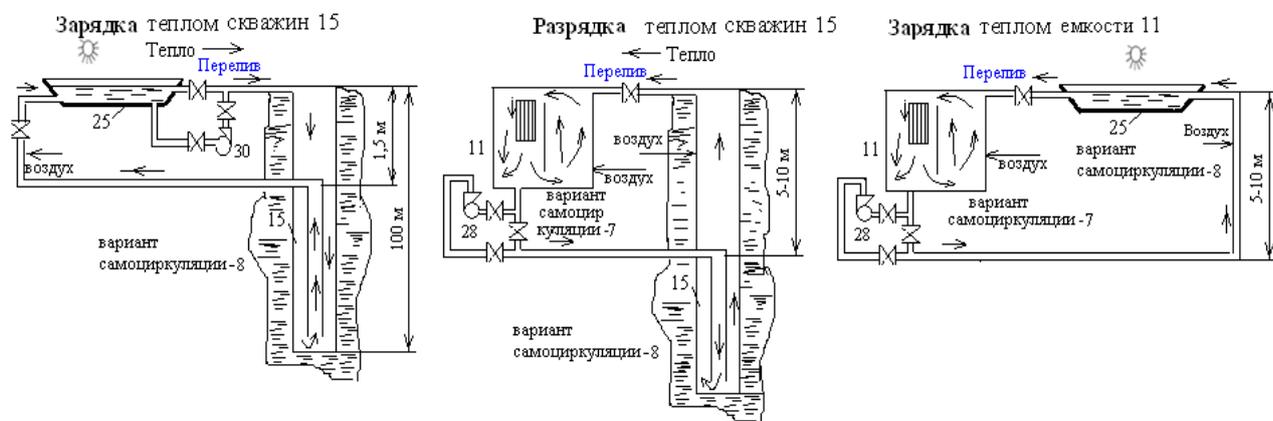


Рисунок 6 – Схемы зарядки и разрядки теплых скважин 15 и зарядки теплом емкости 11 по одинарным схемам самоциркуляции ССС.

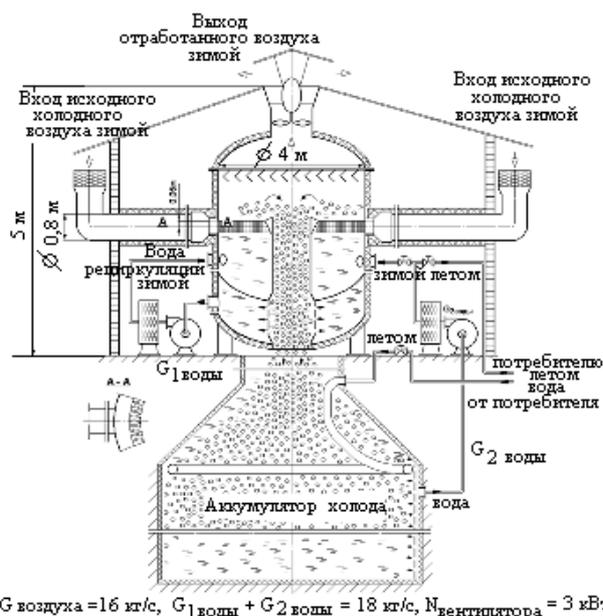


Рисунок 7 – Конструкция льдогенератора, использующего холодный воздух, производительностью 80 т льда/сут.

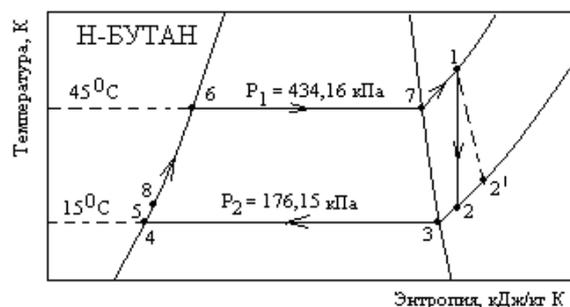


Рис. 8. - Цикл теплосилового устройства на н-бутане на диаграмме температура – энтропия (летний режим).

Аккумулятор холода АХ

Холодная емкость 10 объемом 2000 м³ имеет размеры 20x10x10 м. Этот объем при работе емкости 10 без скважин 14 с нагревом холодной воды от 0 до 13⁰С достаточен для работы ЭС в течение 12,8 часов. При наличии ХАМ в емкости это время будет больше.

Холодные скважины 14 глубиной 100 м на круге диаметром 79,9 м при остаточной температуре зарядки 0⁰С с нагревом после разрядки до 13⁰С запасают «холода» около 8529,8 МВт-ч. Зарядка - в течение 3-х зимних месяцев. В эти же зимние месяцы ЭС при своей работе не потребляет холод из АХ. Чтобы обеспечить этот «двойной» холод льдогенератор ЛГ в зимнее время должен вырабатывать около 500 т льда/сут. Разрядка АХ - в течение 5-ти теплых месяцев. На 4 недостающих месяца необходима работа ЛГ на охлажденном ночном воздухе с охлаждением воды при зарядке до 15⁰С. В конденсаторе ЭС эта вода нагревается до 20⁰С.

Аккумулятор тепла АТ

Теплая подземная емкость 11 объемом 1200 м³ имеет размеры 15x10x8м. Ее объем при самостоятельной работе с охлаждением теплой воды от 60 до 40⁰С достаточен для работы ЭС в течение 10,9 часов.

Теплые скважины 15 глубиной 100 м на площади круга диаметром 52 м при температуре после зарядки 60⁰С и понижением температуры грунта после разрядки до 40⁰С запасают «тепла» около 5549 МВт-ч. Зарядка выполняется в течение 3-х летних месяцев. В эти же летние месяцы ЭС при своей работе не потребляет тепло из АТ.

Чтобы обеспечить это «двойное» тепло солнечный бассейн СБ должен иметь производительность 2648,9 т/сут теплой воды (60⁰С) (или 331,1 т/ч - за 8 солнечных часов). Разрядка АТ происходит в течение 3-х наиболее холодных месяцев. На 6 недостающих месяцев, а также в каждый солнечный день СБ заряжает теплой водой с температурой 60⁰С подземную емкость 11, а также в случае избытка тепла подзаряжает скважины 15. В емкости 11 эта вода при разрядке охлаждается до 40⁰С. Если примем среднюю солнечную мощность на земную поверхность летом около 600 Вт/м² (на широте Киева), а весной - осенью около 400 Вт/м², то площадь СБ должна быть летом около F_{СБ} = 1000 м², т.е. будет достаточен СБ в виде прямоугольника со сторонами 100x10 м. Осенно-весной F_{СБ} = 1500 м², т.е. 100 x 15 м.

Суммарная площадь под АТ, АХ, их подземные емкости, ЛГ, СБ и без учета площадей под турбинный цех и вспомогательные службы составит 7483 м² (это квадрат со сторонами 86,5 м).

Размеры «земельных» участков ЭС мощностью 200 кВт	Размеры в плане, м	Площадь, м ²	Объем, м ³
1. АХ - всего:		5239	
Подземная холодная емкость 10, высота 10 м	20 x 10	200	2000
Льдогенератор ЛГ 17 (500 т/сут), размещен над емкостью 10, высота 16 м	Д = 6	28	448
Скважины 14, глубина 100 м	Д = 79,9	5011	501722
2. АТ - всего:		3772	
Подземная теплая емкость 11, высота 8 м	15x10	150	1200
Солнечный бассейн СБ 25 (размещен над скважинами 15), высота 0,8 м	100 x 15	1500	1200
Скважины 15, глубина 100 м	Д = 52	2122	212172
Итого размеры «пятна» на АХ + АТ (с учетом этажности размещения)		7483	

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоинства ЭС:

1. Нет зависимости от подвоза топлива (нет покупки, транспорта и поставщиков топлива).
2. Безопасность работы. Нет процесса сжигания топлива. Нет выброса СО₂ в атмосферу.
3. Параметры теплосилового цикла неэкстремальны (Р - близко к атмосферному, Т = 0⁰С±60⁰С).
4. Благоприятность использования в сельской местности, особенно удаленной от электросети и газоснабжения. Очень благоприятно энергетическое сочетание с АГРОЭНЕРГОКОМПЛЕКСОМ (теплицы, холодильник, комплекс переработки сельхозсырья - обеспечение электроэнергией, теплом, холодом, чистой водой).

5. Нет сложных электросетей, нет связи с внешней электросетью и зависимости от нее.

6. Простота оборудования и его использования, простота ремонта (насосы, фильтры).

7. Простота регулировки мощности. Возможность ее накопления и форсирования в пиковый период.

8. Особенно благоприятно использование ЭС в случае существования хотя бы одного природного или промышленного теплового источника (холодного или горячего) - геотермальной воды, холодной подземной воды или воды горного стока, теплой сбросной воды промышленного предприятия и др.

Недостатки:

1. Большие начальные капитальные затраты на обеспечение подвода тепловых источников -

тепла и холода (ввиду малых коэффициентов теплопередачи в погружных испарителе и конденсаторе - большие габариты и металлоемкость этих аппаратов).

2. Большой объем земляных работ по сооружению АТ и АХ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гюнтер.** Энергетика будущего. 1936.
2. **Мухачев П.А.** Принцип Баржо и возможности его использования в климатических условиях СССР. Известия Томского политехнического института, 1948, с.57-67.
3. **Трошенькин Б.А.** Возобновляемая энергия, 2003.

4. **Денисов Ю.П., Смирнов Л.Ф.** Льдогенератор, использующий холодный воздух окружающей среды, Патент Украины №97419 от 10.02.2012.

REFERENCES

1. **Hiunter.** Enerhetika budushcheho. 1936.
2. **Mukhachev P.A.** Printsip Barzho i vozmozhnosti ego ispolzovaniya v klsmatscheskskh usloviyakh SSSR. Izvestiya Tomskoho politekhnicheskoho instituta, 1948, pp. 57-67.
3. **Troshenkyn B.A.** Vozobnovliaemaia enerhyia, 2003.
4. **Denisov Yu.P., Smirnov L.F.** Ldohenerator, ispolzuiushchiy kholodny vozdukh okruzhaiushchei sredy, Patent Ukrainy №97419 ot 10.02.2012.

Получена в редакции 07.08.2013, принята к печати 04.09.2013