

УДК. 621 315.5

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ ИЗ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРА

*Будяк Д.В*

*г. Москва, ecovillage@yandex.ru*

### 1. Введение

Автономная система энергоснабжения на ВИЭ, как правило, включает гальванические аккумуляторы большой ёмкости, а зачастую – ещё и резервный источник на базе ДВС. Эти обстоятельства позволяют усомниться в экологичности такой системы.

Мы рассмотрим систему, где электрические аккумуляторы заменены тепловыми, а резервным источником энергии является двигатель с внешним подводом тепла. Эту систему можно называть "система производства и хранения тепловой и электрической энергии на базе теплоаккумулятора и двигателя с внешним подводом тепла", но мы далее будем для краткости говорить просто "система".

Примем следующие сокращения:

ТА – тепловой аккумулятор

ТАМ – теплоаккумулирующий материал

ТД – тепловой двигатель с внешним подводом тепла, соединённый с генератором и производящий электроэнергию из тепла.

Примем обозначения:

T<sub>н</sub> – более высокая температура в тепловой машине или тепловом насосе

T<sub>х</sub> – более низкая температура в тепловой машине или тепловом насосе

### 2. Устройство системы и порядок работы

ТА хранит тепловую энергию, которая может быть получена из различных источников, а именно:

- при сжигании топлива
- от солнечных коллекторов
- из электроэнергии с помощью ТЭНов или тепловых насосов

Когда потребителю нужна электроэнергия, она вырабатывается из накопленной тепловой энергии с помощью ТД.

В системе можно применить разные ТА и ТД. Мы рассмотрим два варианта. По первому варианту в качестве ТАМ используется вода, а ТД – спиральный холодильный компрессор, переделанный в паровую машину. Эта система хорошо изучена на практике, что позволяет оценить её технические и экономические характеристики. Она может быть собрана из серийно выпускаемых компонентов с небольшими доработками. По второму варианту в качестве ТАМ используется гравий. Такая система изучена недостаточно.

### 3. История вопроса

Известны [1] энергетические установки с высокотемпературными ТА на основе графита, в которых ТА нагреваются электричеством. Плотность хранения электроэнергии достигает 300 Вт\*ч на кг.

На солнечных тепловых электростанциях используются высокотемпературные ТА [2]. Днём они заряжаются теплом от солнечных концентраторов, а ночью накопленное тепло используется для выработки электроэнергии.

Английская фирма Isentropic [3] при правительственной поддержке разрабатывает систему аккумулирования электроэнергии с помощью тепловых насосов

с перепадом температур от  $-160^{\circ}\text{C}$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ . Заявлен КПД аккумулирования электроэнергии в 70-75% при стоимости хранения ниже, чем на ГАЭС. Экспериментом это явление пока не подтверждено.

#### 4. КПД системы с учётом несовершенства тепловых машин

##### 4.1. Степень совершенства тепловой машины

Введём величину  $\varepsilon$  – "степень совершенства" тепловой машины или системы.  $\varepsilon$  характеризует эффективность преобразования энергии между тепловой и электрической с учётом потерь на всех этапах. Для системы, работающей в режиме теплового насоса, положим

$$\varepsilon_{\text{ТН}} = (\text{КОП теплового насоса}) / (\text{КОП обратного цикла Карно}) = \\ = (Q_2 / E_1) \times (T_{\text{Н}} - T_{\text{Х}}) / T_{\text{Н}},$$

где  $E_1$  [Дж] – общие затраты электроэнергии,  $Q_2$  [Дж] – теплота, выделенная тепловым насосом при температуре  $T_{\text{Н}}$  и запасённая в ТА. Для теплового двигателя положим

$$\varepsilon_{\text{ТД}} = \text{КПД} / (\text{КПД Цикла Карно}) = (E_4 / Q_3) \times T_{\text{Н}} / (T_{\text{Н}} - T_{\text{Х}}),$$

где  $Q_3$  – тепловая энергия, извлечённая из ТА,  $E_4$  – выработанная электроэнергия.

В хороших энергетических установках с ТД и в тепловых насосах обычно  $\varepsilon \leq 0,5$ , причём эта величина уменьшается при уменьшении электрической мощности установки. Далее в пункте 4 будем предполагать, что в нашей системе  $\varepsilon_{\text{ТН}} = \varepsilon_{\text{ТД}} = 0,25$ .

##### 4.2. Заряд ТА с помощью теплового насоса и разряд с выработкой электроэнергии

Сначала у нас имеется электричество, мы включаем тепловой насос и с его помощью заряжаем ТА. Израсходовав  $E_1$  электроэнергии, получим в ТА

$$Q_2 = E_1 \times T_{\text{Н}} / (T_{\text{Н}} - T_{\text{Х}}) \times \varepsilon_{\text{ТН}}$$

тепловой энергии при температуре  $T_{\text{Н}}$ . Если тепло хранится без потерь, то учитывая, что мы предположили  $\varepsilon_{\text{ТН}} = \varepsilon_{\text{ТД}} = 0,25$ , при последующем разряде ТА через ТД получим

$$E_4 = Q_2 \times (T_{\text{Н}} - T_{\text{Х}}) / T_{\text{Н}} \times \varepsilon_{\text{ТД}} = E_1 \times \varepsilon_{\text{ТН}} \times \varepsilon_{\text{ТД}} \approx 0,06 E_1$$

электроэнергии. То есть КПД аккумулирования электроэнергии составит только 6%.

Вспоминаем, что фирма Isentropic обещает КПД аккумулирования 75%. Для этого нужно, чтобы  $\varepsilon_{\text{ТН}} = \varepsilon_{\text{ТД}} = 87\%$  – это очень высокая эффективность, возможность достижения которой вызывает определённые сомнения.

##### 4.3. Заряд ТА с помощью ТЭНов и разряд с выработкой электроэнергии

Определим эффективный КПД ТД  $\eta_{\text{ТД,эл}}$  как отношение работы электрического тока к затраченному теплу. Отметим, что

$$\eta_{\text{ТД,эл}} = \varepsilon_{\text{ТД}} * (\text{КПД цикла Карно}).$$

Пусть снова у нас есть  $E_1$  джоулей электроэнергии. Тогда мы можем нагреть ТА с помощью ТЭНов. Тогда  $Q_1 = E_1$ . Когда нам понадобится электричество, мы разрядим ТА через ТД и получим

$$E_4 = E_1 \times \eta_{\text{ТД,эл}}$$

электроэнергии. То есть КПД аккумулирования здесь равен КПД ТД. Например, с помощью большой паротурбинной электростанции мы могли бы таким способом запасти электроэнергию с КПД 42%. Если у нас есть генератор мощностью 1 кВт на двигателе Стирлинга с  $\eta_{\text{ТД,эл}} = 15\%$ , то мы можем запасти электроэнергию с КПД 15%.

##### 4.4. Заряд ТА теплом с последующей выработкой электричества

Из внешнего источника получаем  $Q_1$  Дж тепла при температуре  $T_{\text{Н}}$ , которое без потерь запасается и хранится в ТА. В фазе разряда тепло извлекается из ТА и приводит в действие тепловой двигатель. В этом случае КПД преобразования тепла в

электричество будет равен  $\eta_{\text{тд,эл}}$ . По сути, мы просто отложили производство электроэнергии из тепловой энергии на другое время. Этот случай имеет место на тепловых солнечных электростанциях [2], где ТА днём заряжаются теплом от концентраторов, а ночью это тепло идёт на выработку электроэнергии. В экодоме можно заряжать ТА от солнечных коллекторов или протопить дровяной котёл.

#### 4.5. Выводы

Мы ввели понятие степени совершенства  $\epsilon$  и, предполагая  $\epsilon \approx 0,25$ , пришли к выводу о том, что при этом значении  $\epsilon$  аккумулирование электроэнергии с помощью заряда ТА тепловым насосом малоэффективно. Целесообразность заряда ТА прямым нагревом электроэнергией зависит от КПД ТМ. Если у нас есть источник тепловой энергии, то её аккумулирование с последующей выработкой электроэнергии может иметь смысл.

### 5. Система с водяным ТА

Рассмотрим подробнее систему с водяным ТА и попытаемся определить её свойства.

#### 5.1. Упрощённая схема и режимы работы

Упрощённая схема системы изображена на рис. 1. ТА представляет собой теплоизолированный бак с водой и теплообменником. Водяной контур, изолированный от воды внутри ТА, служит для передачи тепла между котлом, ТА и испарителем паросиловой установки на органическом рабочем теле.

В режиме заряда ТА в водогрейном котле сжигается топливо, например, дрова. Вода циркулирует между котлом и ТА и заряжает ТА.

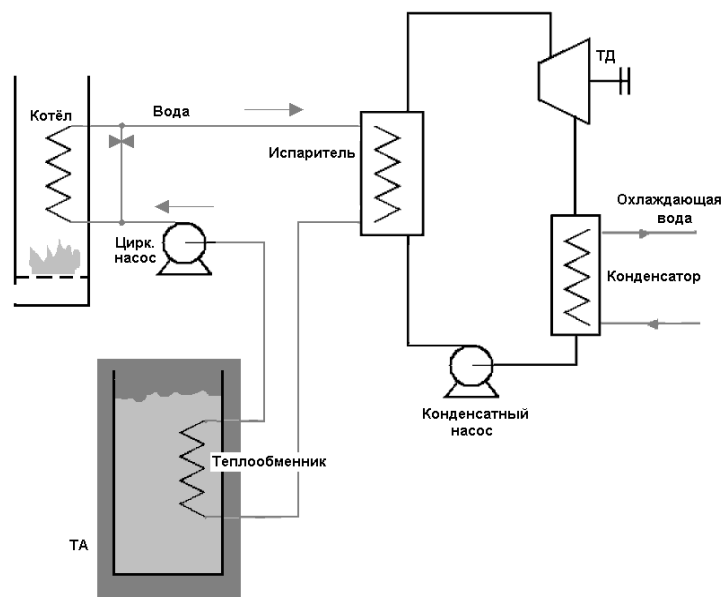


Рис. 1. Система с водой в качестве ТАМ. Упрощённая схема.

В режиме разряда ТА котёл может быть холодным. Вода циркулирует по водяному контуру, минуя котёл благодаря открытому вентилю. Тепло передаётся из ТА в паросиловую установку. В испарителе вода отдаёт тепло органическому рабочему телу. Рабочее тело кипит, и его пары поступают в расширительную машину, изготовленную на базе серийного спирального холодильного компрессора. Далее пары конденсируются в конденсаторе, отдавая тепло охлаждающей воде. Тепло охлаждающей воды сбрасывается в окружающую среду. Конденсат рабочего тела с помощью конденсатного насоса возвращается в испаритель.

Таблица 1. Характеристики экспериментальных паросиловых установок с органическим рабочим телом

| Параметр\ Установка                             | [4],<br>тест 030507P | [5]  |
|---|----------------------|--|
| Температура рабочего тела на входе в машину, °C | 104                  | ≈70 (точно не указана)                             |
| Температура охлаждающей воды, °C                | 11                   | ≈25 (точно не указана)                             |
| Мощность паровой машины, кВт                    | 0,8 эл               | 2 мех,<br>1,7 эл (предполагая КПД генератора 0,87) |
| КПД Карно                                       | 0,25                 | ≤0,14 (точно не указана)                           |
| $\varepsilon$ эл                                | 0,16                 | 0,25 (предполагая КПД генератора 0,87)             |

Вместо котла источником тепла могут быть солнечные коллекторы или ТЭНы. Также возможна выработка тепла из электричества с КПД выше 100%, если паросиловая установка будет работать в режиме теплового насоса, забирая тепло из окружающей среды.

### 5.2. Оценка КПД паросиловой установки

Степень совершенства  $\varepsilon_{эл}$  для системы определим как относительный КПД системы в режиме ТД, рассчитанный по электрической выходной мощности за вычетом энергии, затраченной на привод конденсатного насоса. Мощностью циркуляционных насосов пренебрегаем, поскольку бывают системы отопления без циркуляционных насосов.

Таблица 1 составлена на основе литературных данных по характеристикам экспериментальных паросиловых установок с органическим рабочим телом, созданных на базе серийных холодильных спиральных компрессоров.

Опираясь на эти данные, мы в дальнейших рассуждениях положим  $\varepsilon_{эл} = 0,25$ .

### 5.3. Температура и её перепады в различных точках системы

В литературном источнике [5] не приведено полных данных по температурам в системе, а также по способу определения  $\varepsilon_{ТД}$ . Логично предположить, что  $\varepsilon_{ТД}$  определялся по температурам греющей и охлаждающей воды на входе в испаритель и конденсатор соответственно. Поступим аналогичным образом. Также для простоты примем перепад температур между нагревающей средой на входе и нагреваемой средой на выходе в 5°C во всех теплообменниках. Такого перепада всегда можно добиться подбором достаточно мощных теплообменников.

Предельную температуру воды в котле примем равной 95°C.

Сброс тепла в окружающую среду, вообще говоря, представляет сложности. Будем считать, что нам повезло и имеется неограниченное количество чистой воды температурой +7°C, которую мы можем пропустить через конденсатор. При перепаде температур в конденсаторе 5°C температура конденсации будет +12°C.

Расчёты показывают, что саморазряд хорошо теплоизолированного водяного ТА объёмом 1 м<sup>3</sup> составляет порядка 1% в день. Поэтому саморазрядом пренебрежём.

### 5.4. Температурные режимы системы, полезная ёмкость и КПД

Предполагаем ёмкость ТА эквивалентной 1 тонне воды, теплоёмкость 4,2 МДж/°C ≈ 1,2 кВт\*ч/°C. Вода выходит из котла при 95°C и внутри ТА проходит через теплообменник. Поэтому температуру полностью заряженного ТА примем равной 90°C. Температуру полностью разряженного ТА примем равной 64°C.

При расчёте КПД будем считать, что температура воды в ТА является средней между температурой полного заряда и полного разряда, т.е. 77°C.

### 5.5. Заряд

Температура воды в ТА поднимается от 64°C до 90°C, запасаем 30 кВт\*ч тепла.

### 5.6. Разряд

Падение на теплообменнике в ТА – 5°C. Значит, средняя температура греющей воды рабочего тела будет 72°C. КПД Карно при перепаде от 72°C до 12°C составляет 17%. Мы приняли относительный КПД  $\varepsilon_{эл} = 0,25$ , поэтому КПД преобразования тепла в электроэнергию

$$\eta_{тд,эл} = (\text{КПД Карно}) \times \varepsilon_{эл} \approx 4,3\%.$$

Полная выработка электроэнергии составит  $4,3\% \times 30 \approx 1,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ .

Итак, мы затратили 30 кВт\*ч тепла и получили 1,3 кВт\*ч электроэнергии. Если мы топили котёл дровами, то, принимая КПД котла равным 80%, а теплотворную способность дров – 10 МДж/кг, получаем удельный расход дров  $\approx 11 \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ .

### 5.7. Заряд ТА электричеством

Пусть у нас имеется ветрогенератор или солнечные панели. Тогда мы можем установить ТЭНы внутри ТА и использовать излишнее вырабатываемое электричество для нагрева воды в ТА. Правда, на выходе мы получим только 4,3% от затраченной электроэнергии.

### 5.8. Возможность реализации

Примеры реализации рассматриваемой системы описаны в [4], [5]. Лабораторная система может быть собрана по описаниям, данным в литературе, из серийных компонентов с небольшими доработками. Разработка подобной промышленной установки не должна вызвать существенных трудностей.

### 5.9. Безопасность

При перегреве рабочего тела паросиловой установки давление будет расти, и это может привести к взрыву. Все пригодные по диапазону температур органические рабочие тела при перегреве либо разлагаются с выделением токсичных веществ, либо взрывоопасны. Схема, использующая воду в качестве промежуточного теплоносителя, позволяющая воде кипеть при атмосферном давлении, исключает возможность перегрева рабочего тела паровой машины выше 100°C. А следовательно исключает связанные с этим риски.

### 5.10. Надёжность и долговечность

Система собирается из компонентов холодильного и отопительного оборудования, которые при должном качестве изготовления и монтажа весьма надёжны, нетребовательны к обслуживанию и имеют большой ресурс.

### 5.11. Стоимость

Не претендуя на точность, попробуем оценить стоимость основных компонентов системы из [5]. Паросиловая установка, описанная в [5], имеет максимальную механическую мощность 2 кВт. Предполагая КПД генератора 0,87, получим электрическую мощность 1,7 кВт. Стоимость использованных теплообменников CIAT EXL-1440 выяснить не удалось, поэтому подберём близкий по общей площади пластин и габаритному объёму теплообменник Alfa Laval AC-70X-120M. Он пригоден для хладагента R134a, применённого в [5], и воды, выдерживает нужное давление 22 атм. Цена – 2200 евро или 154.000 руб по курсу 70 [6]. Также ЗАО "Ридан" [7] по запросу рассчитало теплообменник по условиям конденсации из [5] и предложила сопоставимую цену в 182.000 руб с доставкой по России. Эту цену мы и примем за основу.

Таких теплообменников нужно как минимум четыре. Три входят в состав паросиловой установки, описанной в [5], а четвёртый теплообменник с близкими параметрами должен находиться в ТА. Таким образом, стоимость теплообменников составит 728.000 руб или 430.000 руб/кВт электрической мощности.

Котёл STROPUVA мощностью 40 кВт стоит 107.000 руб [8], или около 60.000 руб/кВт электрической мощности. Такая мощность котла позволяет паросиловой установке работать непрерывно на полную мощность.

Компрессор Sanden TRS 105 на интернет-аукционе eбай продаётся по цене порядка 15.000-20.000 рублей, это пренебрежимо мало по сравнению со стоимостью теплообменников. Вероятно, что всё остальное оборудование системы, кроме ТА, также будет стоить пренебрежимо мало по сравнению с теплообменниками. Тогда будем считать, что стоимость компонентов системы составляет 500.000 руб/кВт электрической мощности.

По нашим оценкам, стоимость стального бака ТА, средств защиты от коррозии и теплоизоляционных материалов составит около 14.000 руб при вместимости 1000 кг, или около 11.000 руб за кВт\*ч электрической ёмкости. Защиту от коррозии необходимо возобновлять через 3-4 года, расходы составят порядка 3.000 рублей. Для сравнения, автомобильный аккумулятор 12В×190А\*ч при глубине разряда 30% даёт стоимость ёмкости хранения 11.000 руб/кВт\*ч без учёта амортизации [9]. Видим, что без учёта КПД стоимость хранения тепловой энергии сравнима со свинцовыми аккумуляторами. Мы не проводили анализ амортизации аккумуляторов, но можно предположить, что при учёте амортизации хранение тепловой энергии в водяном ТА окажется существенно выгоднее, чем хранение электрической в свинцовом аккумуляторе.

Итак, ориентировочно стоимость хранения электроэнергии составляет 11.000 руб/кВт\*ч, стоимость установленной мощности по выработке электроэнергии – 500.000 руб/кВт, КПД аккумулирования электроэнергии – 4,3%, расход дров на производство электроэнергии – 11 кг/кВт\*ч. Напомним, речь идёт о неоптимизированной лабораторной установке.

#### **5.12. Согласование с нагрузкой**

КПД паросиловой установки при нагрузке  $\leq 0,01$  от номинала падает практически до нуля. Также возможны проблемы при мгновенном росте нагрузки. Напротив, гальванический аккумулятор, который обычно применяется в автономных системах, мгновенно отвечает на изменение нагрузки и имеет высокий КПД в широком диапазоне мощностей, начиная от нуля.

Поэтому система в любом случае должна включать буферный гальванический аккумулятор или батарею ионисторов для покрытия нагрузки в трёх ситуациях:

- при особо низких нагрузках, когда КПД паросиловой установки слишком мал; в этом случае паросиловая установка будет остановлена;
- при высоких нагрузках и остановленной паросиловой установке – в течение времени, необходимого для запуска паросиловой установки; это время ориентировочно составляет от нескольких десятков секунд до нескольких минут;
- при резком возрастании нагрузки, когда система регулирования паросиловой установки неспособна с этим справиться – в течение времени порядка одной секунды.

Требуемая ёмкость аккумулятора будет многократно меньше ёмкости, обычно используемой в автономных системах энергоснабжения.

#### **5.13. Экологичность**

При использовании углеводородного рабочего тела, вся система будет изготовлена из материалов либо относительно безвредных, либо допускающих экономически выгодную повторную переработку. Исключение составляют отдельные компоненты электрооборудования, но это неизбежно в любой автономной системе электроснабжения. Важным преимуществом является возможность избежать использования ископаемого топлива.



## 5.14. Возможные области применения

### 5.14.1. Автономный экодом

Если дом подключён к электрической или газовой сети, то нет смысла производить или запасать электроэнергию с таким низким КПД. Для автономного экоддома рассматриваемая система может иметь смысл, поскольку в большинстве регионов России солнечные батареи и ветряки не могут дать достаточно дешёвую энергию в течение всего года.

### 5.14.2. Аварийное/временное электроснабжение

Для аварийного электроснабжения КПД имеет меньшее значение, а надёжность и низкие эксплуатационные расходы – большее. Герметичная паровая машина с органическим рабочим телом по своей конструкции, безусловно, надёжнее ДВС.

### 5.14.3. Автономный посёлок

Чем больше мощность паросиловой установки, тем выше её КПД и ниже удельная стоимость установки и эксплуатации. Поскольку рассмотренная система не предусматривает генерации тепла, можно построить комбинированную солнечно-топливную электростанцию для посёлка и провести ЛЭП к каждому дому.

## 6. Система с гравийным ТА

Мы подробно рассмотрели систему с использованием воды в качестве ТАМ. Также возможно использование гравийных ТА. Прототип такого ТА – банная печь-каменка. Сравнение примеров систем с водяным и гравийным ТА проведено в табл. 2.

Табл. 2. Сравнение систем с водяным и гравийным ТА

| Параметр  | ТАМ – вода   | ТАМ – гравий   |
|---|--|--|
| Диапазон температур °С                                | 64-90  | 350-450  |
| Вспомогательный теплоноситель                         | Вода   | Воздух   |
| Тепловая ёмкость ТА, кВт*ч/м <sup>3</sup>             | 27   | 37   |
| Электрический КПД ТД по отношению к теплу из ТА, %    | 4,3  | ≈9,0 (на основании опыта эксплуатации паровых машин) |
| Электрическая ёмкость ТА, кВт*ч/м <sup>3</sup>        | 1,16   | 3,3  |
| Отходящее тепло                                       | Выбрасывается                                      | Может использоваться для отопления или ГВС           |
| Коэффициент использования тепловой энергии, %         | 4,3  | до 100   |
| КПД цикла заряд – разряд при заряде электричеством, % | 4,3  | 9,0 (+ 81% выделяется в виде тепла)                  |
| Заряд ТА солнечным коллектором                        | Плоские или вакуумные коллекторы                   | Концентраторы  |
| Тепловая машина                                       | Паросиловая установка с органическим рабочим телом | Паросиловая установка или двигатель Стирлинга        |
| Наличие готовых компонентов и опыта эксплуатации      | Да   | Ограничено или отсутствует                           |
| Простота эксплуатации                                 | Да   | Требуется изучение                                   |

Выбор тепловой машины для гравийного ТА проблематичен. Традиционная паровая машина доступна на рынке, но сложна в эксплуатации. Например, Индийская фирма [10] предлагает электростанцию мощностью 3кВА за \$5200 (320.000 руб по курсу 61, или 107.000руб/кВА). Попытки вывести на массовый рынок домашний электрический генератор на двигателе Стирлинга предпринимались многократно, но

большинство из них закончились провалом. Сегодня на европейском рынке имеется как минимум один домашний газовый котёл с двигателем Стирлинга, не требующим обслуживания. Установка способна отдавать электроэнергию во внешнюю сеть. Электрический КПД двигателя заявлен в 15% при мощности в 1 кВт, а стоимость всей установки – около 15.000 евро с НДС (более 1.000.000 руб по курсу 70) [11]. Возможность применения этого двигателя совместно с гравийным ТА требует изучения.

## 7. Выводы

Мы обсуждали автономную систему электроснабжения с тепловым аккумулярованием. Такая система полностью основана на ВИЭ, способна в любое время выдавать полную мощность, при этом ёмкость гальванических аккумуляторов может быть многократно (вплоть до нуля) уменьшена по сравнению с обычными автономными системами.

Были рассмотрены два варианта системы. Система с водяным ТА хорошо изучена, основана на проверенных технологиях. Доступно описание лабораторных прототипов. Можно ожидать, что в случае разработки промышленной версии такой системы она будет надёжной и простой в обслуживании. Однако на данном этапе лабораторные образцы демонстрируют низкий КПД и высокую стоимость.

Система с гравийным ТА позволяет в несколько раз повысить плотность хранения энергии, увеличить КПД аккумулярования электроэнергии как минимум до 9%, а КПД выработки электроэнергии из биомассы – до 7%. 81% запасённого тепла может быть использован на отопление и ГВС. Однако практическое создание такой системы требует исследований.

## Литература

1. В.Д.Левенберг. Энергетические установки без топлива. – Л.: Судостроение, 1987.
2. Р.Б.Ахмедов, И.В.Баум, В.А.Пожарнов, В.М.Чаховский. Солнечные электрические станции. – М.:ВИНИТИ, 1986.
3. Isentropic®: [сайт]. URL: <http://isentropic.co.uk/> (дата обращения: 01.02.2015)
4. Sylvain Quoilin. Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration. Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of ElectroMechanical Engineer (Energetic engineering). – Liège.: University of Liège, 2007.
5. D.Manolakos, G.Papadakis, S.Kyritsis, K.Bouzianas. Experimental evaluation of an autonomous low-temperature solar Rankine cycle system for reverse osmosis desalination // Desalination 203 (2007) pp 366-374.
6. Alfa laval. Price list. Refrigeration equipment – 2014: [прайс-лист]. URL: <http://t-solucionaria.com/wp-content/uploads/Tarifas-Refrigeracion.pdf> (дата обращения: 01.02.2015).
7. Ридан®: [сайт]. URL: <http://wp.ridan.ru> (дата обращения: 01.02.2015).
8. Твердотопливный котёл STROPUVA S40: [предложение в интернет-магазине] / интернет-магазин GAZANET. URL: [http://www.gazanet.ru/shop/UID\\_89.html](http://www.gazanet.ru/shop/UID_89.html) (дата обращения: 01.02.2015).
9. Аккумулятор грузовой ПАЗ 6СТ-190: [предложение в интернет-магазине] / интернет-магазин AutoAKB.ru. URL:<http://www.autoakb.ru/catalogitem/3722/> (дата обращения: 01.02.2015).
10. Steam power plants [объявление о продаже] / Aadhunik Global Energy. Rajkot, India. URL:<http://www.tinytechindia.com/steampowerplan.htm> (дата обращения: 01.02.2015)
11. Vitotwin 300-W [объявление о продаже]. URL:[http://www.wrobel-shk.de/Vitotwin-300-W-1-kWel-/-26-kWth\\_1](http://www.wrobel-shk.de/Vitotwin-300-W-1-kWel-/-26-kWth_1) (дата обращения: 01.02.2015).