

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ КАК АЛЬТЕРНАТИВА АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ИЭ

Стручаев Н.И., к.т.н.,

Стручаев К.Н., инженер

Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь,
Россия

Аннотация. ТЭС и АЭС суммарно вырабатывают более 80% электроэнергии во всем мире [1], однако КПД ТЭС составляет около 36 %. Использование низкопотенциальной тепловой энергии (НТЭ) выбросов ТЭС, АЭС, промышленных предприятий, ДВС и т.д., позволит увеличить выработку электроэнергии, сократить загрязнение окружающей среды. Выработка электроэнергии с использованием НТЭ является альтернативой альтернативным «зелеными» способами получения электроэнергии и имеет существенные преимущества.

Ключевые слова: низкопотенциальные источники тепловой энергии, органический цикл Ренкина, термический КПД, фреоны, углеводороды.

Постановка проблемы. В последнее время, несмотря на «зеленый переход», выработка электроэнергии на паротурбинных электростанциях, неожиданно, возросла, однако КПД ТЭС составляет около 36 %. Значит, имеется возможность выработки дополнительно 60% электроэнергии при сжигании того же количества топлива, путем использования НТЭ выбросов ТЭС и других промышленных объектов. Проблема поиска путей использования низкопотенциальных источников теплоты в энергетике как альтернативы альтернативным источникам энергии, является актуальной.

Основные материалы исследования. Переход в альтернативной энергетике на возобновляемые виды топлива, такие как солома, полова, лузга, брикеты, пеллеты, только математически поддерживает нулевой баланс выбросов CO₂. На самом деле выбросы при сжигании этих «чистых» видов топлива намного выше и хуже по составу, чем при сжигании природного газа. Предложены различные пути получения дополнительной выработки электроэнергии [2-10]. Каждый из них имеет определенные преимущества и недостатки [2]. Одним из перспективных направлений является использование в цикле Ренкина вместо водяного пара, паров низкокипящих рабочих тел [2,3]. В некоторых странах употребляют модное нынче слово «органический»,

так и говорят: «Органический цикл Ренкина - ОЦР» (Organic Rankin Cycle - ORC).

В нем можно превратить в электрическую энергию около 75% энергии выхлопных газов и 9,5% энергии охлаждающей воды [2].

На рисунке 1 представлена T-s диаграмма кривых насыщения воды и еще нескольких органических веществ используемых в ОЦР.

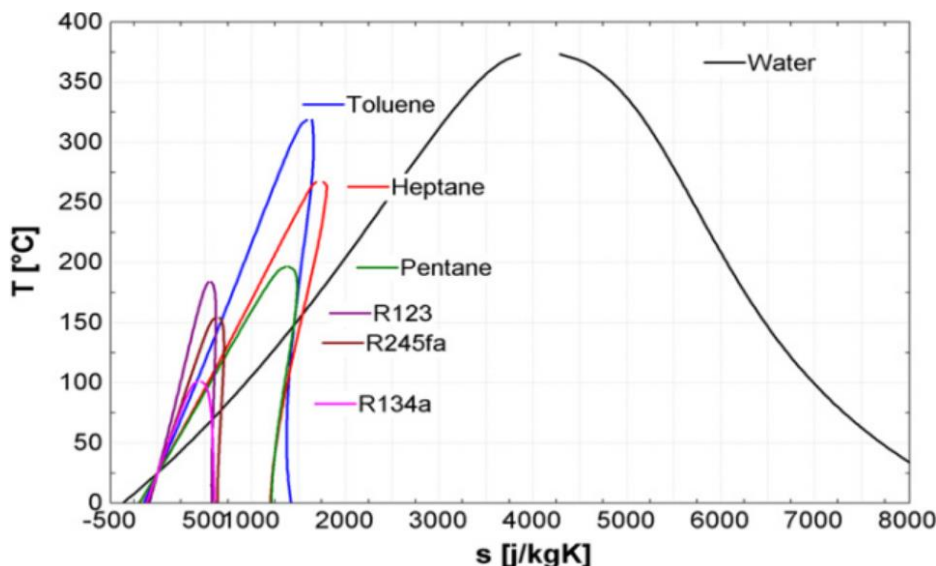


Рис. 1. – T-s диаграмма воды и различных органических жидкостей

Из графика видно – нет необходимости перегревать пар органических жидкостей перед входом в турбину, снижается риск эрозии на лопатках турбины. ОЦР используют для местных электростанций малой мощности.

Низкопотенциальными источниками тепловой энергии считают источники, температура которых не превышает 150-300 °С. Для их использования, применяют низкотемпературные рабочие тела – НРТ, это в основном: хладоны (фреоны) - R11, R12, R114, R123, R245fa, аммиак, и углеводороды - пропан, бутан, пентан, которые значительно дороже воды. Схема установки и цикла реализующих ОЦР, показана на рисунке 2.

Определим для пентана термический КПД цикла Карно при температуре источника низкопотенциальной тепловой энергии ИНпТЭ 95 °С и температуре охлаждающей воды ОВ равной 15 °С по формуле (1):

$$\eta_K = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273.15 + 15}{273.15 + 95} = 0,217 \cdot 100 = 22\% \quad (1)$$

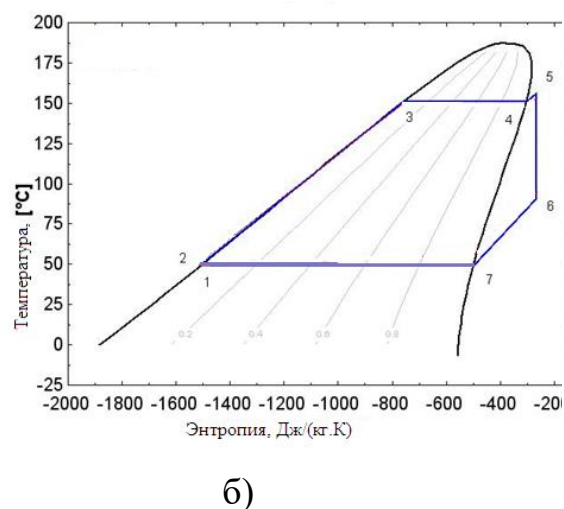
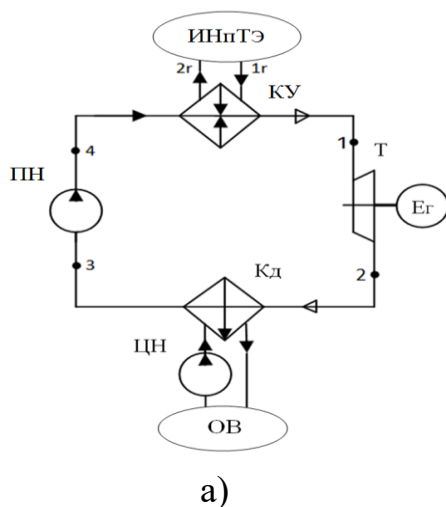
Вычислим КПД органического цикла Ренкина при тех же параметрах:

$$\eta_{\text{ОЦР}} = 1 - \frac{\eta_k}{1 + \frac{\eta_k}{Cl_1}} \quad (2)$$

где Cl_1 – число Клаузиуса:

$$Cl_1 = \frac{\rho \cdot L \cdot v^3}{\lambda \cdot \Delta T} \quad (3)$$

где: ρ – плотность пентана, 626 кг/м³; λ – теплопроводность пентана, 0,114 Вт/(м·К); ΔT – разность температур стенки и жидкости, 130 К; L – характеристическая длина, 0,008 м; v – скорость, 1 м/с.



ИНПТЭ – источник низкопотенциальной тепловой энергии; КУ – котел-утилизатор (испаритель), Кд - конденсатор; ОВ - охлаждающая вода; ПН - питательный насос; Т - турбина; ЦН-циркуляционный насос охлаждающей воды; Эг-электрогенератор

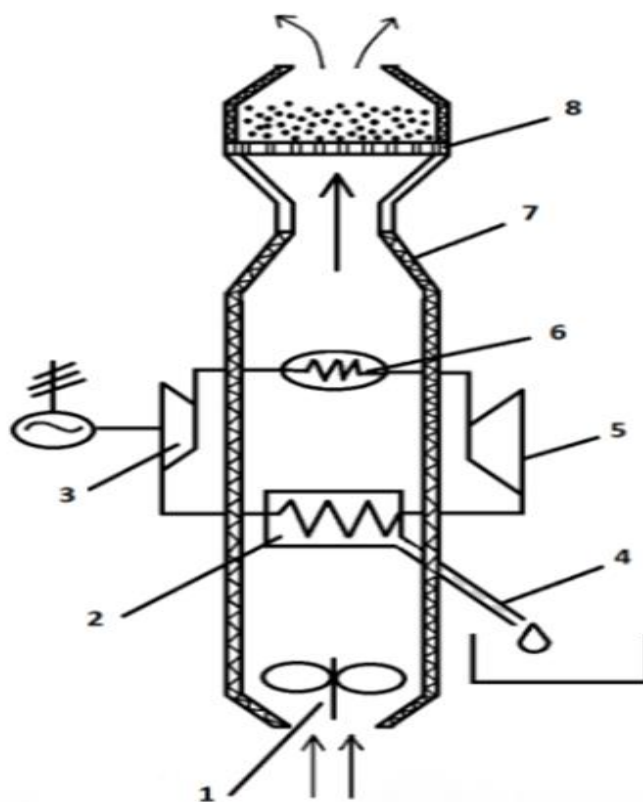
Рис. 2. – Схема установки (а) и цикла (б), реализующих органический цикл Ренкина

КПД органического цикла Ренкина по формуле (2) при этих параметров находится в диапазоне от 9 до 13%, что в 2 ...3 раза меньше КПД цикла Карно, но его можно повысить за счет параметров рабочего тела.

Органический цикл Ренкина можно использовать в бинарном цикле, как в высокотемпературной, так и в низкотемпературной области. Примером может служить разработанная и запатентованная нами [4] установка для сушки сельхозпродукции с одновременной выработкой электроэнергии (рис. 3).

Устройство работает таким образом. Воздух, под действием вентилятора 1, через охладитель-подсушиватель 2 движется к воздухоподогревателю 6. Охладитель-подсушиватель выполнен в виде охладителя воздушной холодильной машины и соединен с

турбодетандером 3 и компрессором 5. При адиабатном расширении хладагента в турбодетандером 3 хладагент выполняет работу привода генератора электрического тока.



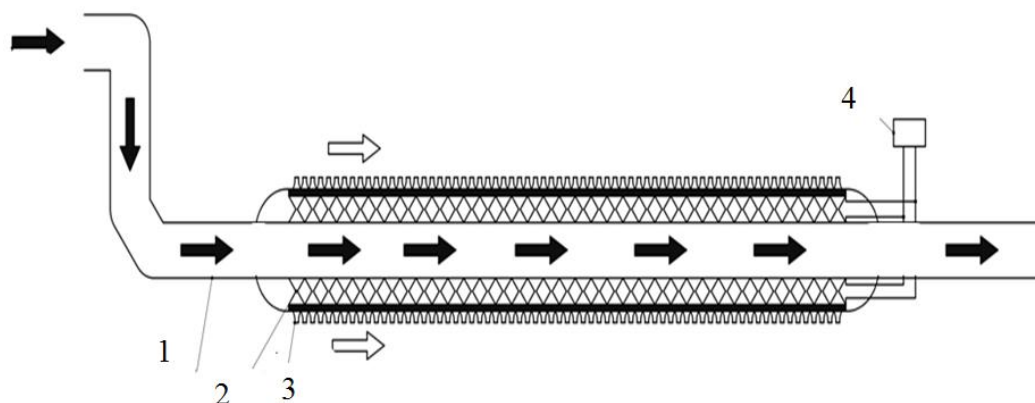
1 - вентилятор, 2 - охладитель-подсушиватель, 3 – турбодетандер с электрогенератором, 4 – патрубок для отвода конденсата, 5 - компрессор, 6 - воздухподогреватель, 7 - диффузор, 8 - сушильная камера с решетчатой основой для размещения высушиваемого материала

Рис. 3. – Схема энергогенерирующего воздушного сушильного устройства

Воздух, из которого удалена часть влаги, попадает в воздухподогреватель 6, выполненный в виде конденсатора воздушной холодильной машины. Подогретый воздух с низкой относительной влажностью поступает в диффузор 7, сквозь решетчатое основание, к сушильной камере 8, где, из материала удаляется часть влаги.

Для утилизации тепловой энергии продуктов сгорания можно использовать термоэлектрический генератор на основе эффекта Пельтье-Зеебека. Его основными преимуществами являются простота, легкий вес и компактность по сравнению с установкой ОЦР.

Для утилизации энергии дымовых газов с одновременной выработкой электроэнергии нами разработано и запатентовано устройство [5], представленное на рис. 4.



1 - дымовая труба, 2 - горячие спаи термоэлектрического преобразователя, 3 - тепловые трубки холодных спаев термоэлектрического преобразователя 4 - преобразователь электрической энергии

Рис. 4. – Схема устройства утилизации энергии дымовых газов с одновременной выработкой электроэнергии

Принцип действия предлагаемого устройства утилизации энергии выхлопных газов заключается в следующем. Горячие дымовые газы подаются в дымовую трубу 1, к которой плотно крепятся горячие спаи термоэлектрического преобразователя 2 и нагревают их. К холодным спаям термоэлектрического преобразователя 2 плотно крепятся испарительные зоны тепловых трубок 3, а их конденсационные зоны выведены наружу в поток холодного воздуха, охлаждая термоэлектрический преобразователь 2, который преобразует тепловую энергию в электрическую. Дополнительно установлен преобразователь электрической энергии 4.

Необходимо отметить также, что использование низкопотенциальной тепловой энергии (НТЭ) для выработки электроэнергии имеет существенные преимущества перед «зелеными» способами получения электроэнергии. Прежде всего, это высокая концентрация энергии в НТЭ – до $5,0 \text{ кВт/м}^3$ при КПД преобразования до 30%, в то время как, концентрация энергии ветра – $0,3 \text{ кВт/м}^2$ при КПД – 20%, а концентрация энергии солнца – $0,16 \text{ кВт/м}^2$ при КПД – 16%. Далее: источники низкопотенциальной тепловой энергии ТЭС и промышленных предприятий находятся непосредственно в промышленной зоне, что снижает капитальные расходы на освоение территории. Огромным преимуществом является то, что низкопотенциальная тепловая энергия ТЭС и промышленных предприятий уже сконцентрирована, чаще всего она поступает по трубам, в отличие от энергии ветра и солнца, которую перед использованием необходимо уловить и сконцентрировать. И, наконец, ветер и солнце выдают энергию совершенно непредсказуемо, а

низкопотенциальная тепловая энергия ТЭС и промышленных предприятий есть всегда.

Выводы. Органический цикл Ренкина применим для низких и средних диапазонов мощностей (от 1...2 кВт до 2...3 МВт), а также для выработки электроэнергии на небольших децентрализованных электростанциях.

КПД органического цикла Ренкина пока невысок, но имеются перспективы его увеличения.

Использование низкопотенциальной тепловой энергии (НТЭ) для выработки электроэнергии имеет существенные преимущества перед «зелеными» способами получения электроэнергии.

Список использованных источников

1. Салибгареева К. В. Мировое производство электроэнергии // European science № 12(22) – С. 37 – 40. [Электронный ресурс]. URL: <https://scientific-publication.com>
2. Шубаров, Н. С. Сравнение органического и парового циклов Ренкина // Молуч.-2017.-№21(155).-С.160-163. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/155/43752/>
3. Белов Г. В. А. Органический цикл Ренкина. // Наука и образование: МГТУ им. Н. Э. Баумана. — 2014. — № 2. — С. 99–124.
4. Патент. 129353, Украина, МПК: F26B 3/02 (2006.01). Энергогенерирующее воздушное сушильное устройство / Стручаев Н.И.; опубл. 25.10.2018. Бюл. №20.
5. Патент. 139806, Украина, МПК: H01L 35/28 (2006.01). Устройство утилизации энергии выхлопных газов. / Стручаев Н.И.; опубл. 27.01.2020. Бюл. №2/2020.
6. Патент 132757, Україна, МПК(2006): F24d 15/04 (2006.01) F24F 5/00. Конденсаторний термоелектричний перетворюючий пристрій / Стручаєв М.І.; опубл. 11.03.2019. Бюл. №5/2019.
7. Патент 133048, Україна, МПК(2006): H02N 11/00, H01L 31/04 (2014.01). Магнітотепловий електрогенеруючий пристрій / Стручаєв М.І.; опубл. 25.03.2019. Бюл. №6/2019.
8. Патент 133049, Україна, МПК(2006): H02N 11/00. Пристрій перетворювання теплової енергії в електричну / Стручаєв М.І.; опубл. 25.03.2019. Бюл. №6/2019.
9. Патент 134300, Україна, МПК:H02J 7/32 (2006.01). Пристрій підзарядки електромобіля/ Стручаєв М.І.; опубл. 10.05.2019. Бюл. №9/2019.
10. Патент. 139811, Україна, МПК (2006): B60L 50/00, H02J 7/32 (2006.01). Рекуперативний пристрій підзарядки електромобіля / Стручаєв М.І.; опубл. 27.01.2020. Бюл. №2/2020.