

2. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
3. Соколов Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
4. Labay V. Mathematical Modeling of a Split-conditioner Operation for Evaluation of Exergy Efficiency of the R600A Refrigerant Application / V. Labay, O. Dovbush, V. Yaroslav, and H. Klymenko // Scientific Journal «Mathematical Modeling and Computing» (Математичне моделювання та інформаційні технології), Vol. 5, No 2. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – 2018. – Pp. 169–177.
5. Labay V. Yo. [Mathematical Modeling of an Air Split-Conditioner Heat Pump Operation for Investigation its Exergetic Efficiency](#) / V. Yo. Labay, V. Yu. Yaroslav, O. M. Dovbush and A. Ye. Tsizda // Scientific Journal «Mathematical Modeling and Computing» (Математичне моделювання та інформаційні технології), Vol. 7, No 1. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – 2020. – Pp. 169–178.



УДК 658.261:621.56

## ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ НА ОЦР

*Овсянник А. В., к.т.н., доцент, ГГТУ им. П. О. Сухого, Гомель, av.ovsyannik@mail.ru*

*Ключинский В. П., аспирант, ГГТУ им. П. О. Сухого, Гомель, vlad240394@mail.ru*

Разработаны схемы тригенерационных установок с возможностью производства жидкой и газообразной углекислоты (рисунок 1) [1]. Совместное производство нескольких видов энергии, а также выпуск продукции позволяют снизить затраты на сооружение и эксплуатацию данного оборудования, по сравнению с отдельным их производством.

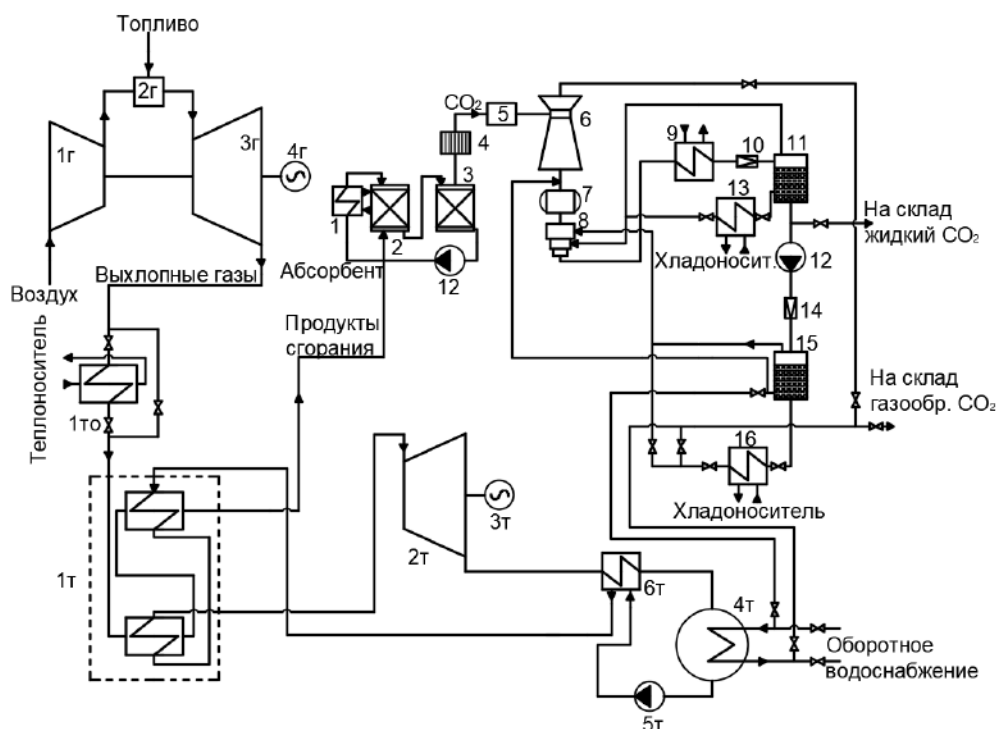


Рисунок 1 – Схема тригенераційної установки з виробництвом вуглекислоти [1]

На рисунку 1 представлена схема тригенераційної установки з виробництвом вуглекислоти, що складається з наступних елементів: 1,13,16 – теплообмінний апарат; 2 – абсорбер; 3 – десорбер; 4 – брызгоотделитель; 5 – осушитель; 6 – інжектор; 7 – ресивер; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10,14 – регулюючий вентиль; 11,15 – сепаратор; 12,5т – насос; 1то – підогревател теплової навантаження; 1т – котел-утилізатор; 2т – турбіна на НКРТ; 3т,4г – генератор; 4т – конденсатор, 6т – регенеративний теплообмінний апарат; 1г – компресор ГТУ; 2г – камера сгорання ГТУ; 3г – газова турбіна.

В склад пропонує тригенераційних установок входить органічний цикл Ренкіна (ОЦР). Дослідження впливу параметрів робочого тіла на ефективність ОЦР виявило існування термодинамічно оптимального тиску для кожного низькокипящего робочого тіла [2]. Однак, підвищення параметрів робочого тіла призводить не тільки до підвищення ефективності ОЦР, але і до збільшення вартості такого обладнання. Таким чином, запропоновано визначити економічно оптимальне тиску в ОЦР. В якості робочого тіла розглянуто фреон R245FA, як одне з низькокипящих робочих тіл (НКРТ), застосовується в сучасних ОЦР установках [3]. В якості джерела енергії тригенераційної установки розглянуто котел-утилізатор (КУ) працюючий на теплових ВЭР. Исходные данніе і розрахунок представлені в таблиці 1. Результати розрахунок представлені на рисунку 2.

Таблиця 1– Розрахунок окупаємості ОЦР установки при різних тисках робочого тіла

Параметр	Досліджуємі варіанти							Примечание
Кількість теплоти поступ. в КУ (Q), $\times 10^5$ МДж	179	179	179	179	179	179	179	Исх. данніе
Тиск НКРТ (P), $\times 10^2$ кПа	20	30	40	50	59*	72	82	Исх. данніе
Температура НКРТ (t), $^{\circ}\text{C}$	250	250	250	250	250	250	250	Исх. данніе
КПД ( $\eta$ ), %	20,01	21,6	22,4	22,7	22,8	22,7	22,4	Программа [4]
Виробат. ел. енергія (N), кВт	995	1073	1111	1129	1133	1126	1115	$N=Q/0,36\cdot\eta$
Стоім. установки ( $C_y$ ), $\times 10^6$ руб.	6,22	6,67	6,89	6,99	7,02	7,04	7,06	[3,5]
Стоімост ел. енергії ( $C_{э}$ ), $\times 10^{-2}$ руб/кВт·ч	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	Исх. данніе
Економія (Э), $\times 10^6$ руб./год	2,0	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,2	$\Delta C = N \cdot C_{э}$
Експлуатаційні витрати ( $K_э$ ), % від	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	[3,5]

стоимости уст./год								
Экспл. расходы за 10 лет ( $C_3$ ), $\times 10^5$ руб	9,3	10,0	10,3	10,5	10,5	10,6	10,6	$C_3 = K_3 \cdot C_y \cdot 10$
Суммарные расходы на установку и эксплуатацию ( $\Sigma C$ ), $\times 10^6$ руб	7,2	7,7	7,9	8,0	8,1	8,1	8,1	$\Sigma C = C_3 + C_y$
Экономия за 10 лет эксплуатации ( $\mathcal{E}_ч$ ), $\times 10^6$ руб	12,8	13,9	14,4	14,6	14,7	14,5	14,3	$\mathcal{E}_ч = \mathcal{E} \cdot 10 - \Sigma C$

\* – эксергетически оптимальное давление рабочего тела.

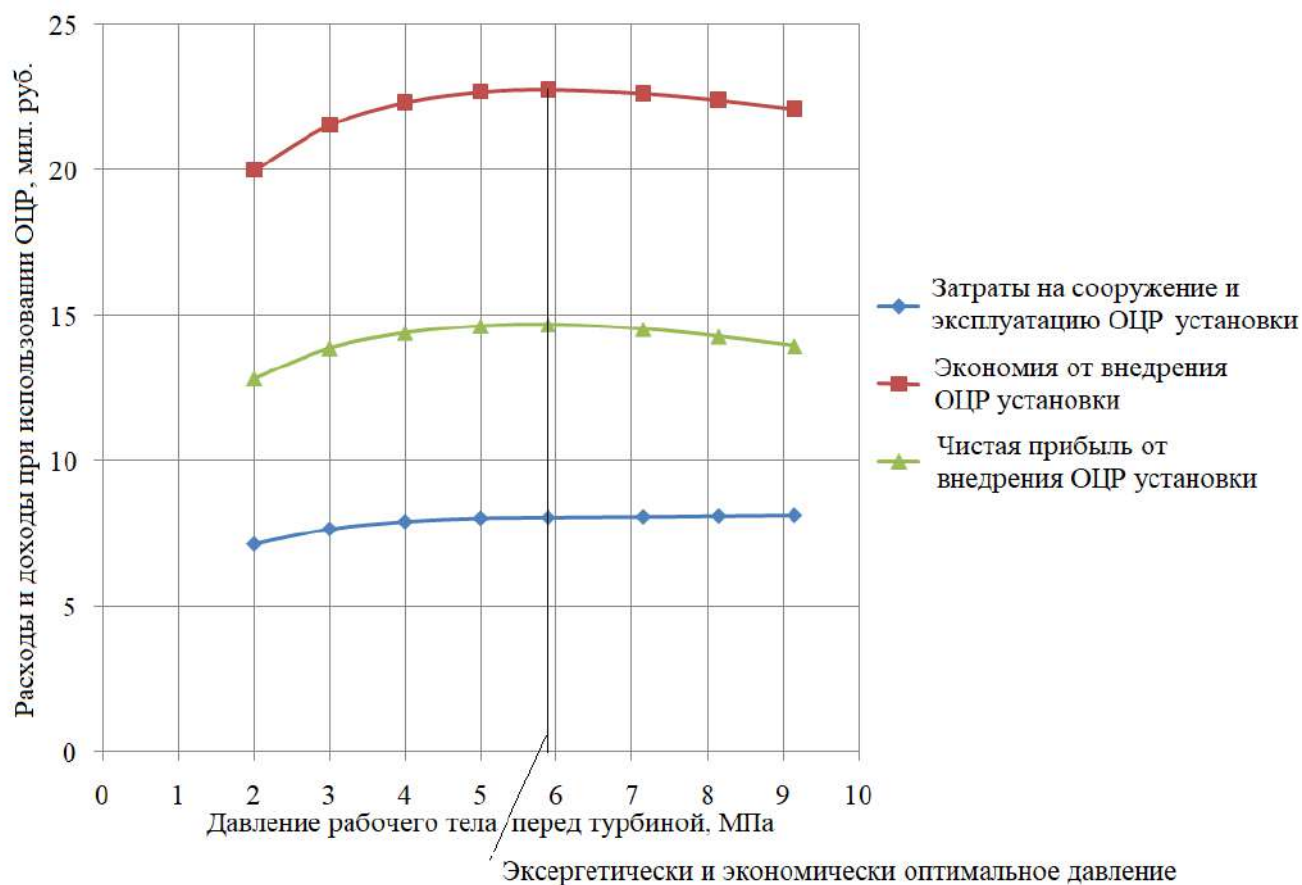


Рисунок 2 – Зависимость экономических показателей ОЦР установки от давления НКРТ

Полученные результаты показывают, что термодинамически оптимальное давления является и экономически оптимальным. Таким образом, применение сверхкритических параметров рабочего тела (которые являются и термодинамически оптимальными) позволяет не только увеличить энергетическую эффективности ОЦР, но и приносят экономический эффект при ее эксплуатации.

Список информационных источников:

1. Овсянник А. В. Турбодетандерные установки на низкокипящих рабочих телах / А.В. Овсянник, В. П. Ключинский // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. № 1 (64). С. 554–562.
2. Ovsyannik, A. V. Thermodynamic analysis and optimization of low-boiling fluid parameters in a turboexpander / A. V. Ovsyannik, V. P. Kliuchinski // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1683. – № 042005.
3. Broek, V. Organic Rankine cycle systems: A techno-economic overview / V. Broek [et al.]. // European Metallurgical Conference. – 2013. – P. 833-844.
4. Овсянник, А.В. Разработка компьютерной программы для оптимизации параметров низкокипящего рабочего тела в турбодетандерной установке / А.В. Овсянник, В. П. Ключинский // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2020. - № 3/4. – С. 108 – 115.
5. Самоявчев, И. С. Оценка экономических показателей проекта применения ОЦР-установок в окрасочных цехах автомобильного производства Горьковского автомобильного завода / И. С. Самоявчев // Интеллектуальная электротехника. – 2018. – № 4. – С. 35-42.



УДК 536.24:621.575:536.248

## **СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛА С ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ И ТЕРМОСИФОНАМИ**

*Васильев Л.Л., д.т.н., профессор, Журавлёв А.С., к.т.н., Рабецкий М.И., к.т.н.,  
Гракович Л.П., к.т.н., Драгун Л.А., ИТМО НАН имени А.В. Лыкова Беларуси, г. Минск,  
[LVASIL@hmti.ac.by](mailto:LVASIL@hmti.ac.by)*

В связи с ростом потребления энергии и ограниченностью мировых ископаемых запасов топливного сырья весьма актуальна проблема диверсификации источников энергии. Одним из перспективных направлений теплотехники является развитие технологий по использованию низкопотенциального тепла. Сорбционные холодильники и кондиционеры воздуха, другие аппараты на солнечной и иных видах энергии от альтернативных источников [1, 2] обеспечивают экономию топливных ресурсов и экологическую безопасность. Совершенствование оборудования для утилизации низкопотенциального тепла может успешно осуществляться с помощью аппаратов на базе тепловых труб (ТТ) и термосифонов (ТС) – устройств с испарительно-конденсационным циклом, превосходящих по теплопередающей способности самые высокотеплопроводные материалы [3–5]. Тепловые трубы и термосифоны совместно с теплотрансформаторами на твердых и жидких сорбентах являются эффективными теплообменными устройствами для утилизации тепла солнца, грунта, грунтовых вод, водных бассейнов. Например, солнечный холодильник на твердых сорбентах (рис. 1) с системой терморегулирования на базе пародинамических термосифонов (ПДТ), в испарителе которого поддерживается температура ниже температуры окружающей среды, не нуждается в использовании электрической энергии, поскольку в нем происходит прямое преобразование тепла. Принципиальное отличие ПДТ от других термосифонов и тепловых труб заключается в том, что конденсатор конструктивно представляет собой теплообменник «труба в трубе», движущийся пар и двухфазное течение теплоносителя пространственно разделены, конденсирующаяся жидкость проталкивается из