

## РЕАЛІЗАЦІЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ПАРОТУРБІННОГО ЦИКЛУ НА НИЗЬКОКИПЛЯЧОМУ РОБОЧОМУ ТІЛІ ДЛЯ СІЛЬГОСППІДПРИЄМСТВА

Сенецький О. В.

*Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України*

*Запропоновано впровадження замкнутих паротурбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах з метою виробництва власної електроенергії за рахунок спалювання відновлюваних паливних ресурсів.*

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) з метою енергозабезпечення та енергонезалежності об'єктів народного господарства стає надзвичайно актуальним. Останнім часом особливої важливості набувають технології одержання теплової та електричної енергії за допомогою спалювання відновлюваних паливних ресурсів (біомаси, торфу та ін.).

Одним з ефективних способів використання відновлюваних паливних енергоресурсів є генерація електричної енергії на основі паротурбінних установок з низькокиплячими робочими тілами (НРТ), за так званим, органічним циклом Ренкіна (ORC) [1, 2 та інші].

Енергоустановки на НРТ реалізуються в тому випадку, коли температура теплоносія 80 – 350 °С. Це пов'язано з тим, що при цій температурі застосування водяної пари недоцільно або її необхідно догрівати до температури 420 °С та вище [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спочатку замкнуті паротурбінні цикли на НРТ отримали широкий попит на геотермальних електричних станціях [1], потім застосування контурів такого типу перенесли до промислової та комунальної енергетики. Потужності контурів на НРТ різноманітні та визначаються джерелом теплоти малого потенціалу, що підводиться до парогенератору [2, 3].

Область використання також поширилася на сільське господарство. Одним з ефективних способів використання відновлюваних паливних енергоресурсів є їх спалювання з метою генерації електричної енергії [4, 5].

**Мета статті.** Пропонується впровадження енергозбереження на основі реалізації замкнутих паротурбінних циклів в контурі котрих використовуються низькокиплячі робочі тіла, що дасть можливість малим підприємствам сільського господарства виробляти електричну енергію на власні потреби.

**Останні матеріали дослідження.** У якості палива в котлі спалюється біомаса. При розгляді енергетичного потенціалу до біомаси відносять всі форми матеріалів рослинного походження, які можуть бути використані для отримання енергії: деревину, трав'яни та зернові культури, відходи лісового господарства і т. д. Основні властивості паливних ресурсів, що застосовуються представлені в табл. 1. Робоче тіло, що обирається для ORC контуру має задовольняти екологічним, термодинамічним, експлуатаційним та економічним вимогам. Робочі тіла, що повністю відповідають необхідним вимогам, знайти практично неможливо. Тому в кожному окремому випадку обирають фреон з урахуванням конкретних умов роботи машини,

та перевагу слід віддавати таким, які задовольняють більшості вимог. Основні характеристики деяких фреонів, які можна застосовувати в замкнутих циклах такого типу, наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Енергетична ємність біомаси

| Вид біомаси | Зміст вологи, % | МДж/кг | кВт·год./кг |
|-------------|-----------------|--------|-------------|
| Солома      | 15              | 14,1   | 3,9         |
| Зернові     | 15              | 14,1   | 3,9         |
| Дуб         | 20              | 14,1   | 3,9         |
| Сосна       | 20              | 13,7   | 3,8         |

Таблиця 2 – Основні властивості розглянутих хладонів

| Речовина | Молекул. маса, г/моль | $T_{\text{кип}}^*$ , °С | $T_{\text{кр}}^{**}$ , °С | $P_{\text{кр}}^{**}$ , бар | ODP   | GWP  |
|----------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-------|------|
| Масло    | 236,53                | -85,95                  | 290,94                    | 14,15                      | 0     | 0    |
| R-124    | 136,48                | -12,0                   | 122,3                     | 36,2                       | 0,02  | 480  |
| R-134a   | 102,03                | -22,5                   | 101,10                    | 40,67                      | 0     | 1300 |
| R-142b   | 100,49                | -9,2                    | 136,8                     | 41,5                       | 0,065 | 2000 |
| R-236fa  | 152,04                | 1,4                     | 124,9                     | 32,0                       | 0     | 6300 |
| R-406a   | 89,6                  | -32,7                   | 116,5                     | 48,8                       | 0,043 | 8500 |
| R-600    | 58,12                 | -11,8                   | 150,80                    | 37,18                      | 0     | 20   |

\* – температура кипіння при атмосферному тиску;

\*\* – критична величина.

У якості прикладу розглянуто, що кількість теплоти, яка підведена до робочої рідини в котлі складає 550 кВт. Застосовується когенераційна схема в замкнутому циклі якої використовується НРТ (рис. 1).

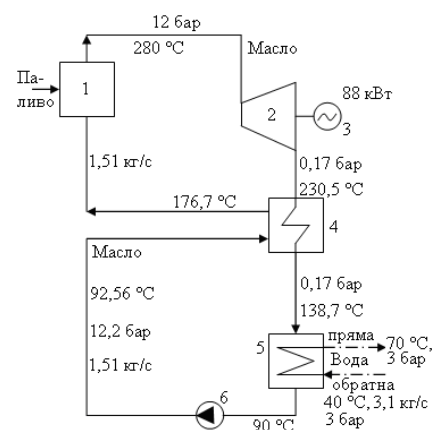


Рисунок 1 – Принципова теплова схема когенераційної установки

Замкнутий ORC контур (рис. 1) включає: котел (1) для випаровування і перегріву НРТ до необхідних параметрів, турбіну (2) з електрогенератором (3), регенеративний теплообмінний апарат (4), теплообмінник для підігріву води на гаряче водопостачання (5), конденсатний насос (6).

У більшості випадків реалізуються докритичні турбінні цикли, це пов'язано з тим, що витрати на реалізацію надкритичних циклів більше, ніж вигреш потужності.

Особливістю ORC є те, що процес розширення в турбіні закінчується в області перегрітої пари, що викликає ерозійний знос лопаток і позитивно позначається на її роботі. Електричний ККД циклу, що розглядається складає 16 %, загальний ККД реалізованої когенераційної установки становить 83 %. Малий загальний електричний ККД пояснюється низьким потенціалом вихідного джерела теплоти.

За результатами проведених розрахункових досліджень отримані витратні та параметричні характеристики низькокипящих робочих тіл, а також потужність та електричний ККД установок в залежності від робочого тіла, що застосовується.

При використанні різних робочих тіл потужність установок також буде різною. Розглянуто задачу модернізації теплової схеми за умови постійної витрати палива. Прийнято рішення – встановити паралельно теплофікаційної установки додатковий електрогенеруючий контур.

Вихідна тепла схема розрахована на зимовий період. Разом з тим відомо, що гаряче водопостачання в літній період складає ~ 15 % від сумарного теплопостачання, отже, в літній період решту теплоту можна використовувати для вироблення електроенергії, реалізуючи тим самим каскадну теплову схему.

Згідно поставленої задачі проведено аналіз та вибір робочих тіл з урахуванням характеристик першого контуру та таким чином, щоб максимально ефективно використовувати теплоперепад для виробництва електроенергії.

Отримано, що використання другого каскаду дозволить виробляти додатково ~ 20 кВт електроенергії та збільшити електричний ККД установки до ~ 22 % із збереженням гарячого водопостачання та без додаткового спалювання палива.

**Висновки.** При вирішенні задачі підвищення ефективності використання поновлюваних паливних ресурсів з метою виробництва електричної енергії на власні потреби сільгоспідприємства при реалізації замкнутих паротурбінних циклів проведено аналіз низькокипящих робочих тіл.

Реалізація теплових схем для вирішення задач енергозбереження з використанням турбін на НРТ дозволить частково покривати потребу в електроенергії із збереженням гарячого водопостачання. У розглянутому випадку для першого контуру енергетичної установки, в якій реалізована когенераційна тепла схема, обрано "Технічне масло", для другого контуру робочим тілом обрано R-142b. У кожному конкретному випадку необхідно індивідуально підбирати робоче тіло і його параметри. Використання енергетичних установок з НРТ вимагає подальшого розвитку та проведення додаткових досліджень.

## Список використаних джерел

1. Редько А. А. Термодинамические параметры геотермальной электрической станции с бинарным сверхкритическим циклом / А. А. Редько // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2009. – № 4. – С. 81-85.

2. Гринман М. И. Перспективы применения энергетических установок малой мощности с низькокипящими рабочими телами / М. И. Гринман, В. А. Фомин // Энергомашиностроение. – 2006. – № 1. – С. 63-69.

3. Шубенко А. Л. Экономическая эффективность утилизации низькопотенциальных вторичных энергетических ресурсов посредством установки турбины на низькокипящем рабочем теле / А. Л. Шубенко, Н. Ю. Бабак, М. И. Роговой и др. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 6. – С. 18-26. – ISSN 2218-1849.

4. Турбины на низькокипящих рабочих телах для сельскохозяйственных предприятий с целью выработки электроэнергии [Текст]: В 5 ч. Ч. 1. Проблемы энергообеспечения и энергосбережения / А. В. Сенецкий, С. В. Алехина, С. В. Роговой, И. А. Темнохуд // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 9-я Международная науч.-технич. конф., 21-22 мая 2014 г.: Труды. – Москва: ГНУ ВИЭСХ. – 2014. – С. 163-167. – ISBN 978-5-903413-13-3.

5. Рустамов Н. А. Биомасса – источник энергии / Н. А. Рустамов, С. И. Зайцев, Н. И. Чернова // Энергия: экономика, техника, экология. Журнал Президиума РАН. – 2005. – № 6. – С. 20-28. – ISSN 0233-3619. – <http://cbio.ru/page/43/id/1771>.

## Аннотация

### РЕАЛИЗАЦИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ПАРОТУРБИННОГО ЦИКЛА НА НИЗЬКОКИПЯЩЕМ РАБОЧЕМ ТЕЛЕ ДЛЯ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЯ

Сенецкий А. В.

*Предложено внедрение замкнутых паротурбинных циклов на низькокипящих рабочих телах с целью производства собственной электроэнергии за счет сжигания возобновляемых топливных ресурсов.*

## Abstract

### IMPLEMENTATION OF THE COGENERATION STEAM TURBINE CYCLE ON THE LOW-BOILING WORKING FLUID FOR AGRICULTURAL

O. Senetskyi

*Implementation of closed steam turbine cycles on low-boiling working fluids to produce own electricity by burning renewable fuel resources is proposed.*