

УДК 62-176.2

*Potapov A.A.*

*к.ф.-м.н., доцент кафедры ПЭС*

*ФГБОУ ВО «КГЭУ»*

*Gafurov N.M.*

*студент*

*4 курс, факультет «Энергонасыщенных материалов и изделий»*

*ФГБОУ ВО «КНИТУ»*

*Россия, г. Казань*

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА  $C_3H_8$  ДЛЯ ВЫРАБОТКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ПАРОВОЙ  
ТУРБИНЫ ТИПА К-800-240**

*Представлены результаты исследования способа работы низкотемпературного теплового двигателя на сжиженном  $C_3H_8$  по выработке электроэнергии в составе конденсационной паровой турбины типа К-800-240 при температуре окружающей среды до минус  $50^{\circ}C$ .*

*Ключевые слова:* паровая турбина, низкотемпературный тепловой двигатель, сжиженный пропан.

*Potapov A.A.*

*candidate of physico-mathematical sciences*

*assistant professor of department «industrial electronics and lighting»*

*«KSPEU»*

*Gafurov N.M.*

*4th year student, faculty of «Energy-intensive materials and products»*

*«KNRTU»*

*Russia, Kazan*

## POSSIBILITIES OF USE OF THE LOW-TEMPERATURE HEAT ENGINE ON C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> FOR ELECTRICITY PRODUCTION AS A PART OF A CONDENSATION TURBINE K-800-240

*Results of research of mode of work of the low-temperature heat engine are presented on the liquefied C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> for electricity production as a part of the condensation turbine K-800-240 at ambient temperature to minus 50°C.*

**Keywords:** *steam turbine, low-temperature heat engine, liquefied propane.*

В настоящее время основной прирост мощностей в энергосистемах происходит за счет ввода новых энергоблоков (конденсационных паровых турбин) мощностью 500 МВт, 800 МВт и 1200 МВт, выпускаемых производственными объединениями «Ленинградский металлический завод» (ЛМЗ, входит в состав «Силовые машины») и «Харьковский турбинный завод» (ХТЗ, ныне «Турбоатом»). Данные паровые турбины в основном используются на крупных ГРЭС (государственная районная электростанция) такие как Костромская ГРЭС (3600 МВт), Сургутская ГРЭС-2 (5597 МВт), Рефтинская ГРЭС (3800 МВт), Рязанская ГРЭС (3070 МВт), Пермская ГРЭС (2400 МВт) и т.д. [1, 2].

Конденсационные паровые турбины предназначены для выработки электроэнергии за счет превращения максимально возможной части теплоты пара в механическую работу. При этом весь отработавший пар в такой турбине поступает в конденсатор. Поэтому для большинства конденсационных паровых турбин потери теплоты в холодном источнике (конденсаторе) могут составлять до половины (45-50%) затрачиваемой теплоты в термодинамическом цикле.

Например, мощные паровые турбины типа К-800-240 ЛМЗ (номинальной мощностью 800 МВт и начальными параметрами пара: давление 23,5 МПа и температура 540°C) предназначены для работы в конденсационном режиме со значительным расходом пара (до 400 кг/с) в конденсатор, где поддерживается низкое давление пара равное 3,5 кПа, что

соответствует температуре насыщения в  $26,67^{\circ}\text{C}$ , а сам процесс конденсации 1 кг пара сопровождается высвобождением скрытой теплоты парообразования равная примерно 2150 кДж/кг, которая в настоящее время отводится с помощью охлаждающей воды в окружающую среду. При этом для осуществления процесса охлаждения 1 кг пара в конденсаторе паровой турбины требуется прокачивать около 45-60 кг охлаждающей воды с затратами электрической мощности на циркуляционные насосы в среднем 12 кВт, что для данной паровой турбины затраты электрической мощности на собственные нужды могут составить до 5 МВт [3, 4].

В настоящее время проводятся исследования и разработки, новых энергоэффективных систем охлаждения паровых турбин, в которых промежуточным теплоносителем вместо воды служит низкокипящее рабочее тело, которое испаряется в поверхностном конденсаторе паровой турбины, расширяется в турбодетандере и конденсируется затем в охладительной башне, где теплота конденсации передается наружному воздуху [5, 6].

Особенностью конденсационных паровых турбин является возможность повышения их тепловой экономичности за счет усовершенствования той части тепловой схемы, которая относится к использованию теплоты отработавшего в турбине пара. Например, в зимний период времени конденсаторы паровых турбин типа К-800-240 ЛМЗ являются источниками сбросной низкопотенциальной теплоты с температурой в  $26,67^{\circ}\text{C}$ , а окружающая среда – прямой источник холода с допустимой температурой вплоть до минус  $50^{\circ}\text{C}$ . Имеющийся теплоперепад можно сработать с помощью низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на низкокипящем рабочем теле [7].

Таким образом, в зимний период времени предлагается использовать низкотемпературный тепловой двигатель в составе конденсационной паровой турбины типа К-800-240, где реализуется термодинамический цикл Ренкина на основе парового контура с отводом теплоты в холодном

источнике (конденсаторе) второму контуру на низкокипящем рабочем теле – сжиженном пропане  $C_3H_8$ . Причем охлаждение низкокипящего рабочего газа  $C_3H_8$  будет осуществляться наружным воздухом окружающей среды при температуре от  $0^\circ C$  до минус  $50^\circ C$ .

Способ работы низкотемпературного теплового двигателя на  $C_3H_8$  осуществляется следующим образом. Отработавший в паровой турбине влажный пар (2%-10%) при давлении в 3,5 кПа охлаждается и конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых протекает охлаждающая жидкость. В качестве охлаждающей жидкости используется сжиженный пропан  $C_3H_8$ , который сжимают в насосе до давления 0,9-1,2 МПа и направляют в теплообменник-конденсатор паровой турбины типа К-800-240 для охлаждения отработавшего в турбине влажного пара. Конденсация 400 кг/с пара сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования равного примерно 860 МВт, которая отводится на нагрев и испарение сжиженного газа  $C_3H_8$  до температуры перегретого газа в  $21,67^\circ C$ . На выходе из теплообменника-конденсатора паровой турбины полученный перегретый газ  $C_3H_8$  направляют в турбодетандер, где в процессе расширения газа происходит снижение его температуры и давления, а мощность на валу турбодетандера передается соединенному на одном валу электрогенератору. После турбодетандера газообразный  $C_3H_8$  направляют в теплообменник-конденсатор аппарата воздушного охлаждения, где в процессе охлаждения газообразного  $C_3H_8$  ниже его температуры насыщения происходит процесс интенсивного сжижения, после чего сжиженный газ направляют в насос и цикл повторяется [8].

Аппараты воздушного охлаждения имеют более длительный срок службы по сравнению с аппаратами водяного охлаждения из-за меньшего загрязнения и коррозии наружной поверхности теплообмена.

На рис. 1, 2 представлены графики расчетных показателей по выработке (потреблению) полезной электрической мощности

низкотемпературным тепловым двигателем и абсолютного электрического КПД турбогенератора при осуществлении процесса охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-800-240 контуром циркуляции на  $C_3H_8$  в зависимости от температуры наружного воздуха в зимний период времени.

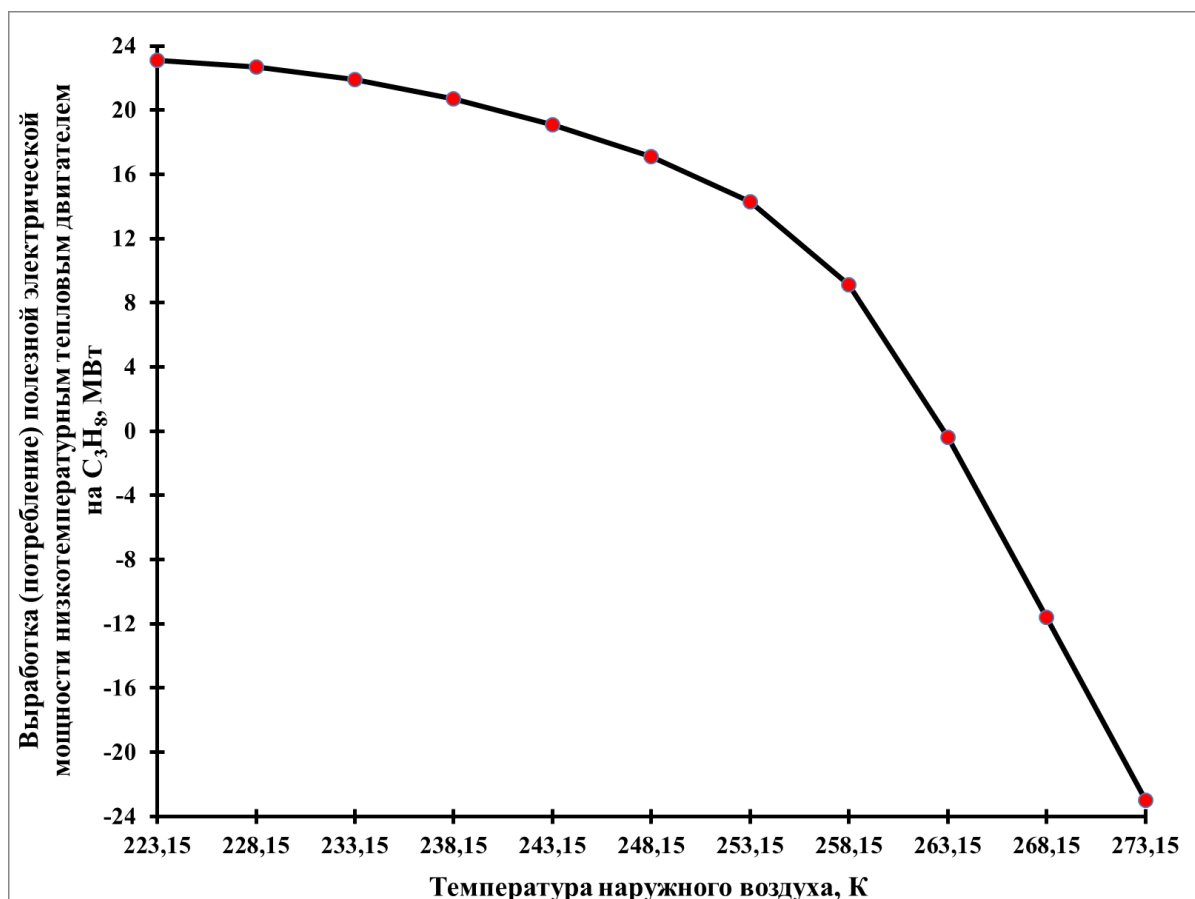


Рис. 1. Для турбин К-800-240 с расходом пара в конденсатор 400 кг/с.

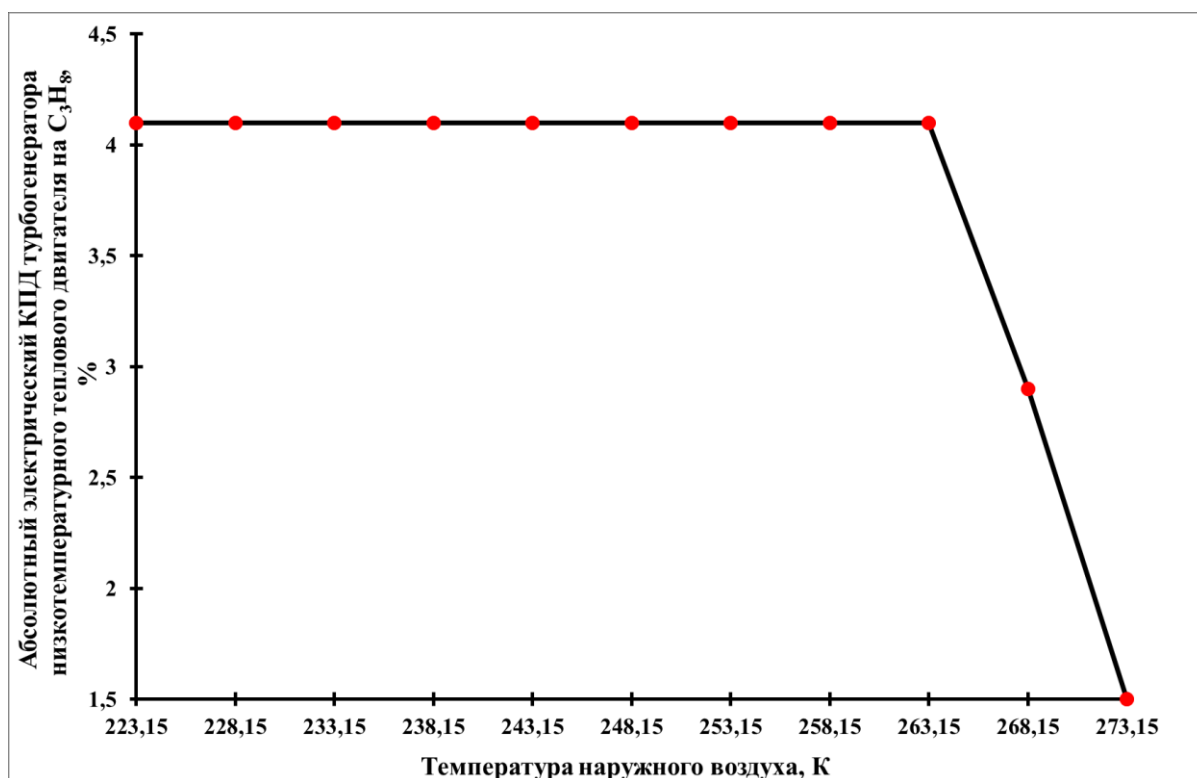


Рис. 2. Для турбин К-800-240 с расходом пара в конденсатор 400 кг/с.

Абсолютный электрический КПД (рис. 2) турбогенератора низкотемпературного теплового двигателя варьируется от 1,5% до 4,1%. При этом использование низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на  $C_3H_8$  в составе конденсационной паровой турбины типа К-800-240 позволяет дополнительно вырабатывать электроэнергию на станции (рис. 1) в диапазоне температур окружающей среды от 258,15 К (-15°C) до 223,15 К (-50°C).

#### Использованные источники:

1. Самые крупные электростанции России. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://tesiaes.ru/?cat=252>.
2. Электростанции России. Турбины конденсационные. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1y\\_2DqJPq-IOJGDqRTrHpGN2prTN3VYpmicq9mDnz0jw/htmlembed?chrome=false&pubre-direct=true&widget=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1y_2DqJPq-IOJGDqRTrHpGN2prTN3VYpmicq9mDnz0jw/htmlembed?chrome=false&pubre-direct=true&widget=true).

3. Клименко А.В., Зорин В.М. Тепловые и атомные электростанции: Справочник. Книга 3. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 648 с.
4. Бродов Ю.М. Теплообменники энергетических установок. Учебное пособие. – Екатеринбург. Издательство «Сократ», 2003. – 965 с.
5. Патент на изобретение № 2560495 РФ. Способ работы тепловой электрической станции / Гафуров А.М., Гафуров Н.М. 20.08.2015 г.
6. Патент на изобретение № 2560496 РФ. Способ работы тепловой электрической станции / Гафуров А.М., Гафуров Н.М. 20.08.2015 г.
7. Гафуров А.М., Гафуров Н.М. Перспективы применения бинарных энергоустановок на тепловых электростанциях России. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 509-512.
8. Зайнуллин Р.Р., Гафуров А.М. Осуществление бинарного цикла в составе конденсационной паровой турбины типа К-800-240-3 ЛМЗ, охлаждаемого водой при температуре 5°C. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 796-799.