

УДК 62-176.2

*Гатина Р.З.*

*студент*

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

**ФГБОУ ВО «КНИТУ»**

*Гафуров А.М.*

*инженер I категории УНИР*

**ФГБОУ ВО «КГЭУ»**

*Россия, г. Казань*

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА CO<sub>2</sub> ДЛЯ ВЫРАБОТКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ  
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ТИПА ПТ-40/50-8,8/1,3**

*Представлены результаты исследования способа работы низкотемпературного теплового двигателя на сжиженном CO<sub>2</sub> по выработке электроэнергии в составе современной теплофикационной паровой турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 при температуре окружающей среды до минус 50°С.*

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

***Gatina R.Z.***

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

***«KNRTU»***

***Gafurov A.M.***

***engineer of the I category «Management of research work»***

***«KSPEU»***

***Russia, Kazan***

## POSSIBILITIES OF USE OF THE LOW-TEMPERATURE HEAT ENGINE ON CO<sub>2</sub> FOR ELECTRICITY PRODUCTION AS A PART OF A EXTRACTION TURBINE PT-40/50-8,8/1,3

*Results of research of mode of work of the low-temperature heat engine are presented on the liquefied CO<sub>2</sub> on electricity production as a part of the modern extraction turbine PT-40/50-8,8/1,3 at ambient temperature to minus 50°C.*

**Keywords:** *steam turbine, low-temperature heat engine, liquefied carbon dioxide gas.*

Современные теплофикационные паровые турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 производства Калужского турбинного завода (входит в состав «Силовые машины») снабжаются двумя регулируемые отборами пара на производственные нужды и теплофикацию.

В зимний период времени паровые турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 (номинальной мощностью 40 МВт и начальными параметрами пара: давление 8,8 МПа и температура 535°C) работают в теплофикационном режиме, когда часть теплоты отработавшего в турбине пара, имеющая более низкий потенциал, отбирается на производственные нужды и теплофикацию, а часть пара вентиляционного расхода до 6 кг/с через цилиндр низкого давления направляется в конденсатор паровой турбины. При этом в конденсаторе паровой турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 поддерживается низкое давление пара равное 5,5 кПа, что соответствует температуре насыщения в 34,58°C. Конденсация 1 кг отработавшего в турбине пара сопровождается высвобождением скрытой теплоты парообразования (ранее затраченная на испарение) равная примерно 2133 кДж/кг, которая отводится с помощью охлаждающей воды в окружающую среду [1, 2].

В настоящее время возрастает интерес к воздушным конденсаторам в связи с обострением глобальной мировой проблемы нехватки воды во многих районах мира. Использование воздушных конденсаторов позволяет

решить такие проблемы, как привязка электростанции к источнику охлаждающей воды, либо затраты на строительство прудов-охладителей, исключает необходимость установки и эксплуатации водозаборных и водоочистных сооружений.

Особенностью использования воздушной системы охлаждения конденсаторов паровых турбин в зимний период времени заключается в том, что конденсаторы паровых турбин типа ПТ-40/50-8,8/1,3 являются источниками сбросной низкопотенциальной теплоты с температурой в  $34,58^{\circ}\text{C}$ , 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.

Таким образом, предлагается использование низкотемпературного теплового двигателя в составе теплофикационной паровой турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3, где реализуется термодинамический цикл Ренкина на основе парового контура с отводом теплоты в холодном источнике (конденсаторе) второму контуру на низкокипящем рабочем теле – углекислом газе  $\text{CO}_2$ . Причем охлаждение низкокипящего рабочего газа  $\text{CO}_2$  будет осуществляться наружным воздухом окружающей среды в зимний период времени при температуре от  $0^{\circ}\text{C}$  до минус  $50^{\circ}\text{C}$  [3].

Замкнутый контур циркуляции низкотемпературного теплового двигателя представляет собой последовательно соединенные насос, теплообменник-испаритель (конденсатор паровой турбины), турбодетандер с электрогенератором и теплообменник-конденсатор аппарата воздушного охлаждения [4].

Способ работы низкотемпературного теплового двигателя на  $\text{CO}_2$  осуществляется следующим образом. Отработавший в паровой турбине влажный пар (2%-10%) при давлении в 5,5 кПа охлаждается и конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых

протекает охлаждающая жидкость. Полученный основной конденсат с помощью конденсатного насоса направляют в систему регенерации. В качестве охлаждающей жидкости используется сжиженный углекислый газ  $\text{CO}_2$ , который сжимают в насосе до высокого давления и направляют в теплообменник-конденсатор паровой турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 для охлаждения отработавшего в турбине влажного пара. Конденсация 6 кг/с пара сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования равного примерно 12,8 МВт, которая отводится на нагрев и испарение сжиженного газа  $\text{CO}_2$  до температуры перегретого газа в  $29^\circ\text{C}$ . На выходе из теплообменника-конденсатора паровой турбины полученный перегретый газ  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  направляют в теплообменник-конденсатор аппарата воздушного охлаждения, где в процессе охлаждения газообразного  $\text{CO}_2$  ниже его температуры насыщения происходит процесс интенсивного сжижения, после чего сжиженный газ направляют в насос и цикл повторяется [5].

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 ПТ-40/50-8,8/1,3 контуром циркуляции на  $\text{CO}_2$  в зависимости от температуры наружного воздуха в зимний период времени.

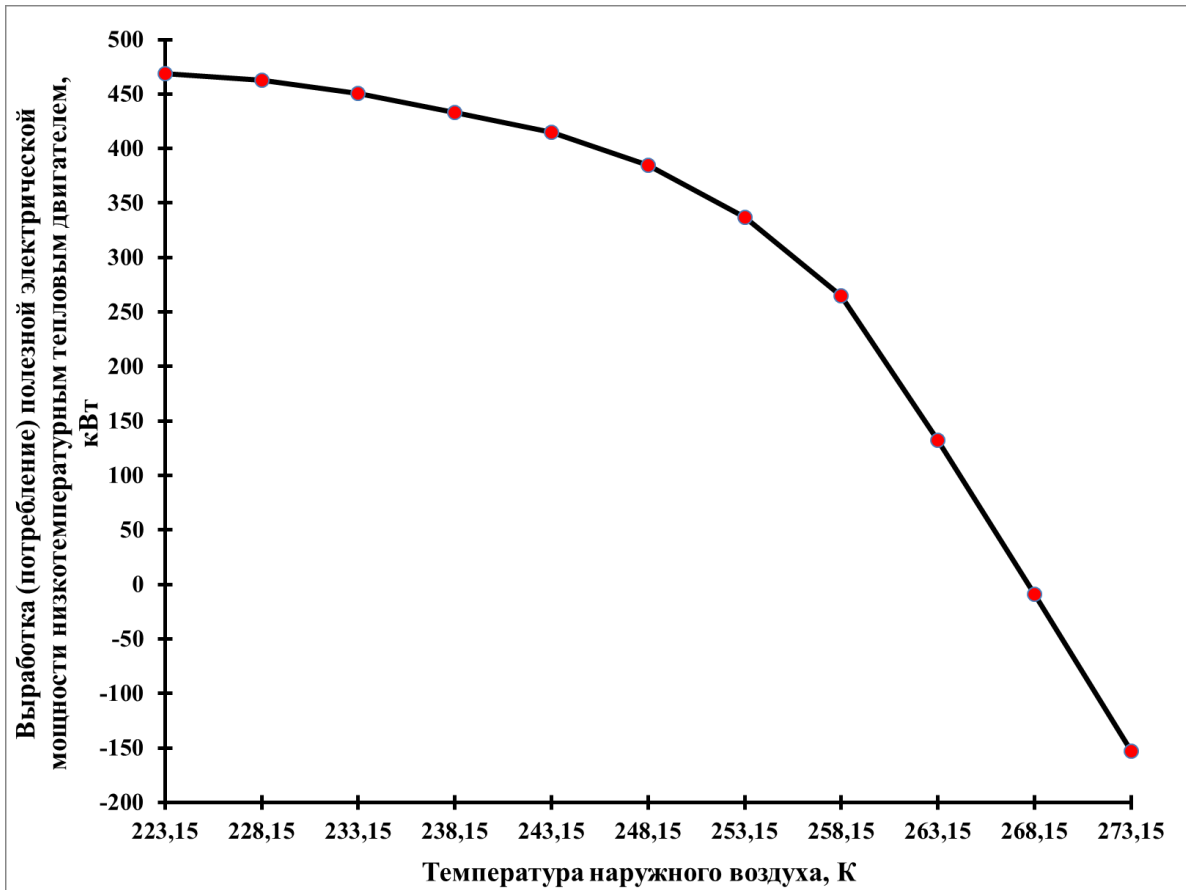


Рис. 1. Для турбин ПТ-40/50-8,8/1,3 с расходом пара в конденсатор 6 кг/с.

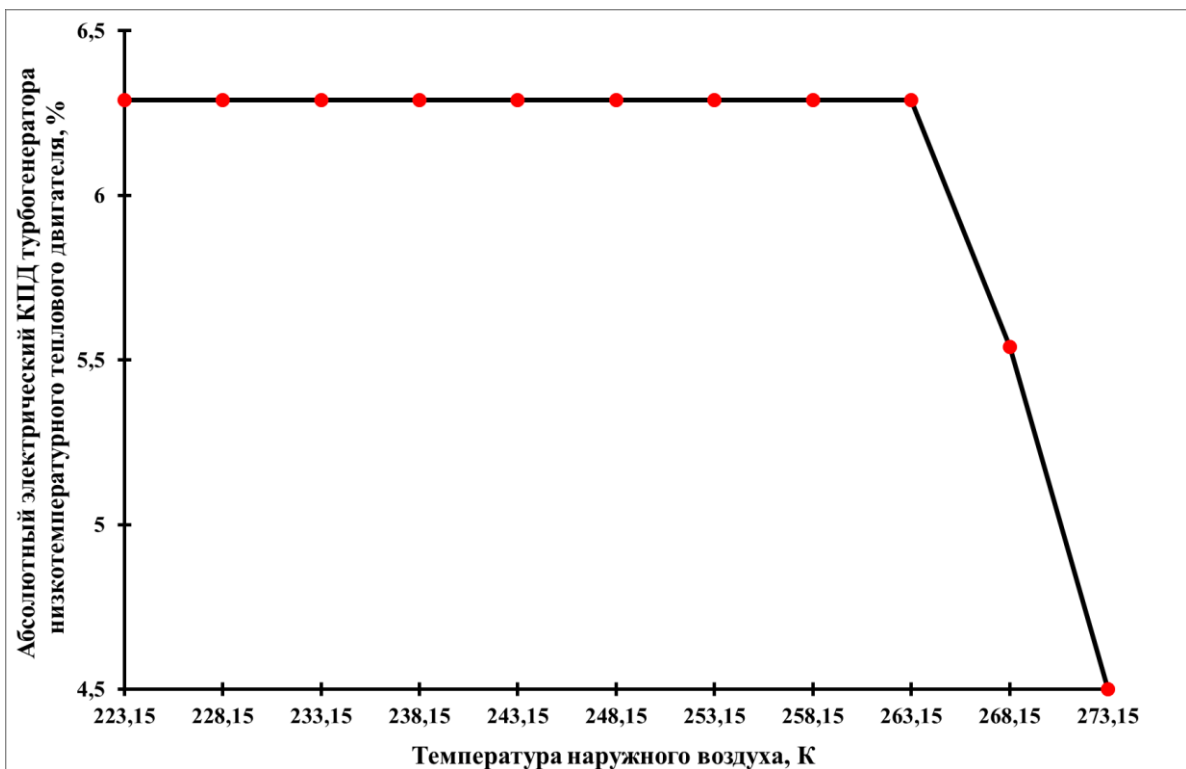


Рис. 2. Для турбин ПТ-40/50-8,8/1,3 с расходом пара в конденсатор 6 кг/с.

Абсолютный электрический КПД (рис. 2) турбогенератора низкотемпературного теплового двигателя варьируется от 4,5% до 6,29%. При этом использование низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на CO<sub>2</sub> в составе теплофикационной паровой турбины типа ПТ-40/50-8,8/1,3 позволяет дополнительно вырабатывать электроэнергию на станции (рис. 1) в диапазоне температур окружающей среды от 263,15 К (-10°C) до 223,15 К (-50°C).

### **Использованные источники:**

1. Номенклатура выпускаемой продукции КТЗ. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://nnhpe.spbstu.ru/wp-content/uploads/2015/02/Nomenklatura-KTZ-2014-g.pdf>.
2. Пропуск пара вентиляционный через ЧНД турбины. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/345214/>.
3. Гафуров А.М., Гатина Р.З. Выбор низкокипящего рабочего тела по теплофизическим показателям для использования в тепловом двигателе в области температур от 80°C до минус 55°C. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 496-499.
4. Гафуров А.М., Гатина Р.З. Выбор низкокипящего рабочего тела по положению угла наклона кривой линии насыщенного газа. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 500-503.
5. Гатина Р.З., Гафуров А.М. Способ утилизации тепловых отходов промышленности с температурой в 30°C в зимний период времени. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 476-479.