

УДК 62-176.2

Гатина Р.З.

студент

5 курс, факультет «Энергонасыщенных материалов и изделий»

ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Бобин Д.Н.

к.т.н., доцент

старший научный сотрудник УНИР

ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Россия, г. Казань

**ВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА CO₂ В
СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТИПА К-1250-6,9/25**

Представлены результаты исследования по выработке электроэнергии с помощью низкотемпературного теплового двигателя на CO₂ в системе охлаждения паровых турбин типа К-1250-6,9/25 в зимний период времени.

Ключевые слова: паровая турбина, система охлаждения, углекислый газ.

Gatina R.Z.

5th year student, faculty of «Energy-intensive materials and products»

«KNRTU»

Bobin D.N.

cand.tech.sci., associate professor

senior research associate «Office of research, innovation and development»

«KSPEU»

Russia, Kazan

POSSIBILITIES ELECTRICITY PRODUCTION BY MEANS OF THE LOW-TEMPERATURE HEAT ENGINE ON CO₂ IN THE COOLING SYSTEM OF STEAM TURBINES TYPE K-1250-6,9/25

The results of a study on the generation of electricity using a low-temperature heat engine on CO₂ in the cooling system of steam turbines type K-1250-6,9/25 in the winter period are presented.

Keywords: *steam turbine, cooling system, carbon dioxide.*

Характерным отличием турбинных технологий для атомных электростанций (АЭС) является абсолютное господство конденсационных паровых турбин насыщенного пара достаточно низких параметров, но при этом обладающая большей единичной мощностью, которая превышает производительность любых тепловых блоков на органическом топливе. Примером может служить одна из последних разработок компании ОАО «Турбоатом» – паровая турбина типа К-1250-6,9/25, спроектированная в первую очередь для энергоблоков АЭС нового поколения с реактором ВВЭР-ТОИ. Предполагается, что реакторы данного типа будут заменять выбывающие энергоблоки старых АЭС, например, Курской АЭС в России.

Конденсационные паровые турбины типа К-1250-6,9/25 (номинальной мощностью 1250 МВт и начальными параметрами пара: давление 6,9 МПа и температура 284,8°С) характеризуются тем, что предназначены для выработки электроэнергии со значительным расходом пара в конденсатор равным около 975 кг/с, что при традиционном способе охлаждения потребует до 45000 кг/с охлаждающей воды с затратами электрической мощности на циркуляционные насосы до 11,7 МВт [1].

В настоящее время проводятся исследования новых систем охлаждения конденсаторов 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.

Учитывая, что в зимний период времени в конденсаторе паровой турбины типа К-1250-6,9/25 поддерживается низкое давление пара равное 5,0 кПа, что соответствует температуре насыщения в 32,87°C, а окружающая среда – прямой источник холода с допустимой температурой вплоть до минус 50°C. Имеющийся теплоперепад можно сработать с помощью низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на сжиженном углекислом газе CO₂.

Способ работы низкотемпературного теплового двигателя на CO₂ осуществляется следующим образом. Отработавший в паровой турбине влажный пар (10-12%) при давлении в 5,0 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 CO₂, который сжимают в насосе до давления в 6,93 МПа и направляют в конденсатор паровой турбины типа К-1250-6,9/25 для охлаждения отработавшего в турбине влажного пара. Конденсация 975 кг/с пара сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования равного примерно 2082 МВт, которая отводится на нагрев и испарение сжиженного газа CO₂ до температуры перегретого газа в 28°C. Полученный перегретый газ CO₂ 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 CO₂ направляют в конденсатор воздушного охлаждения, где в процессе охлаждения газообразного CO₂ ниже его температуры насыщения происходит процесс интенсивного сжижения и цикл повторяется [2].

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

низкотемпературным тепловым двигателем и его эксергетической эффективности при осуществлении процесса охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-1250-6,9/25 контуром циркуляции на сжиженном CO_2 в зависимости от температуры наружного воздуха в зимний период времени.

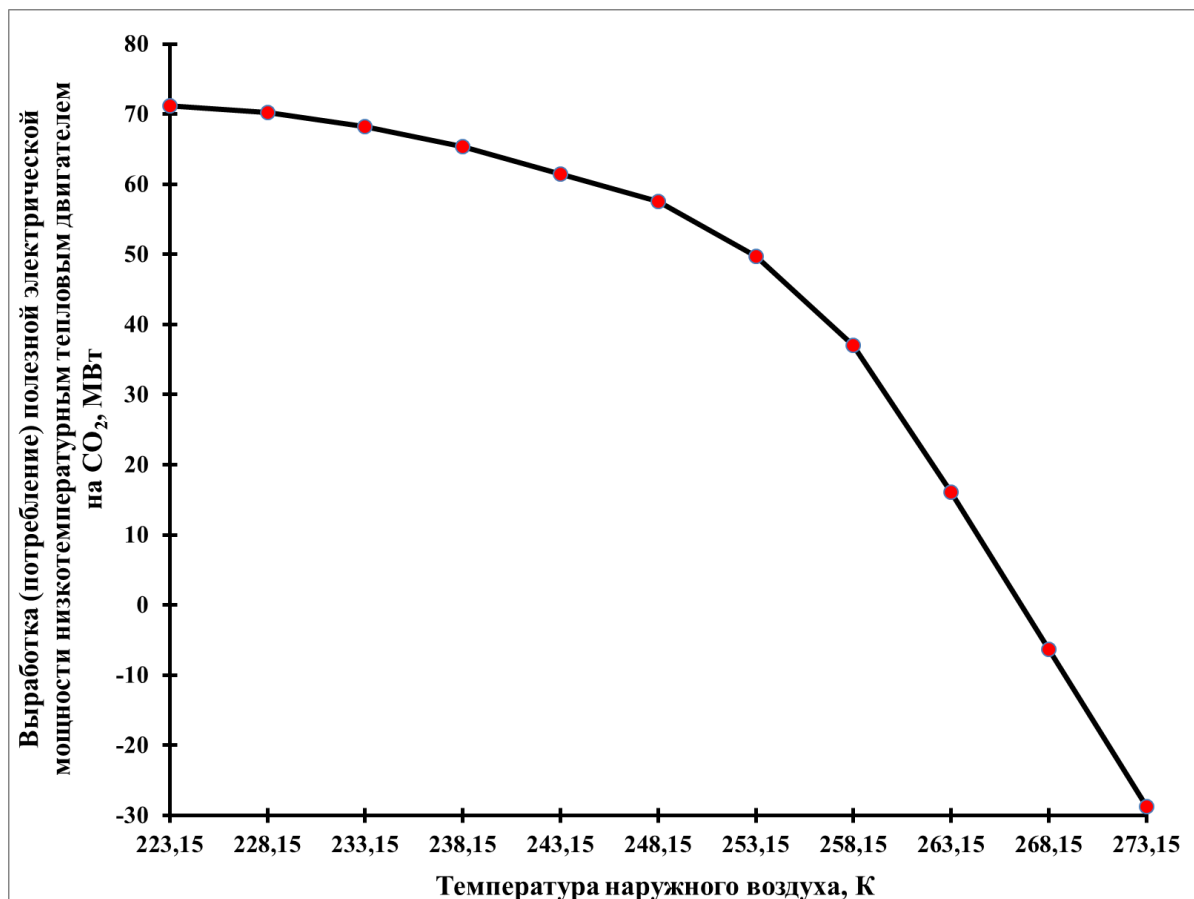


Рис. 1. Для турбин К-1250-6,9/25 с расходом пара в конденсатор 975 кг/с.

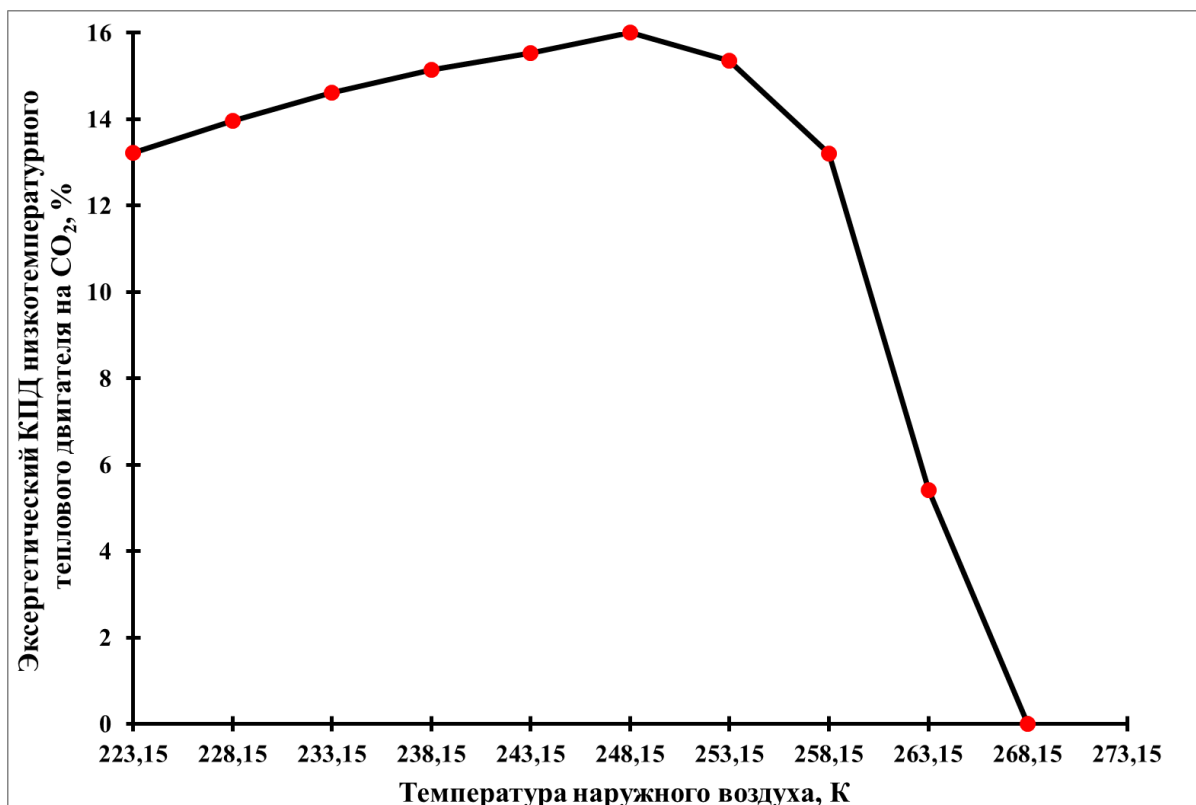


Рис. 2. Для турбин К-1250-6,9/25 с расходом пара в конденсатор 975 кг/с.

Эксергетическая эффективность низкотемпературного теплового двигателя (рис. 2) варьируется от 5,41% до 16%. При этом использование низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на CO₂ в системе охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-1250-6,9/25 позволяет дополнительно вырабатывать электроэнергию на АЭС (рис. 1) в диапазоне температур окружающей среды от 263,15 К (-10°C) до 223,15 К (-50°C).

Температурный диапазон использования сжиженного газа CO₂ в качестве низкокипящего рабочего тела в тепловом контуре органического цикла Ренкина ограничивается показателями критической температуры в 31°C и температурой в тройной точке минус 56,56°C. Поэтому использование сжиженного газа CO₂ в температурном диапазоне от 40°C до минус 50°C позволяет обеспечить приемлемые давления контура циркуляции низкотемпературного теплового двигателя и затраты на его сжатие.

Обезвоженный диоксид углерода (как газообразный, так и жидкий) не корродирует металлы, что способствует повышению надежности работы

конденсаторов паровых турбин за счет отсутствия коррозионно-активной среды и обрастания трубок органическими соединениями по сравнению с традиционной системой охлаждения.

Использованные источники:

1. Турбина паровая К-1250-6,9/25. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.atomeks.ru/mediafiles/u/files/Atomex_2013/Forum_materials_04.12/1_Levchenko_E.V..pdf.
2. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гафуров Н.М., Гатина Р.З. Перспективы использования бинарных циклов в утилизации низкопотенциальной теплоты на геотермальных электростанциях. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. – № 5-6 – С. 14-24.