

УДК 62-176.2

Потапов А.А.

к.ф.-м.н., доцент кафедры ПЭС

ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Гафуров Н.М.

студент

4 курс, факультет «Энергонасыщенных материалов и изделий»

ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Россия, г. Казань

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ РАСХОДА УСЛОВНОГО ТОПЛИВА
НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ СТАНЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В
СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТИПА К-500-240-2
КОНТУРА ЦИРКУЛЯЦИИ НА CO₂**

Рассматриваются возможности экономии расхода условного топлива на собственные нужды станции при замещении традиционной системы охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-500-240-2 контуром циркуляции на сжиженном CO₂ в зимний период времени.

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

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 ECONOMY OF A CONSUMPTION OF EQUIVALENT FUEL ON OWN NEEDS OF STATION WHEN USING IN AN INTEGRAL COOLING SYSTEM OF STEAM TURBINES K-500-240-2 OF A CONTOUR OF CIRCULATION ON CO₂

The possibilities of economy of a consumption of equivalent fuel on own needs of station at substitution of a traditional integral cooling system of condensers of steam turbines K-500-240-2 by a circulation contour on the liquefied CO₂ in a winter time span is considered.

Keywords: *steam turbine, integral cooling system, liquefied carbon dioxide gas.*

Мощные паровые турбины типа К-500-240-2 (номинальной мощностью 500 МВт и начальными параметрами пара: давление 23,5 МПа и температура 540°С) предназначены для работы в конденсационном режиме со значительным расходом пара (до 255 кг/с) в конденсатор. Давление пара за последними ступенями турбины перед входом в конденсатор достигает 3,63 кПа, что соответствует температуре насыщения в 27,29°С. При этом выпуск отработавшего пара в части низкого давления производится в четыре потока из-за большого объемного расхода пара [1, 2].

Процесс конденсации 1 кг пара сопровождается высвобождением скрытой теплоты парообразования равная примерно 2157 кДж/кг, которая в настоящее время отводится с помощью охлаждающей воды в окружающую среду. При этом потери теплоты в конденсаторе паровой турбины могут составлять до половины (45-50%) затрачиваемой теплоты в термодинамическом цикле.

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-500-240-2 являются источниками сбросной низкопотенциальной

теплоты с температурой в $27,29^{\circ}\text{C}$, а окружающая среда – прямой источник холода с допустимой температурой вплоть до минус 50°C . Имеющийся теплоперепад можно сработать с помощью замкнутого контура циркуляции на низкокипящем рабочем теле представляющий собой тепловой двигатель, осуществляющий свою работу по органическому циклу Ренкина. Воздушные конденсаторы по ряду причин пока не получили широкого распространения, перспективные разработки в этой области будут описаны далее.

В настоящее время проводятся исследования и разработки новых систем охлаждения, 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 [3, 4].

Поэтому предлагается использование в системе охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-500-240-2 контура циркуляции на сжиженном углекислом газе CO_2 в виде теплового двигателя, где реализуется термодинамический цикл Ренкина на основе парового контура с отводом теплоты в холодном источнике (конденсаторе) второму контуру на низкокипящем рабочем теле – CO_2 . Основным преимуществом использования углекислого газа CO_2 является его температура тройной точки равная минус $56,56^{\circ}\text{C}$, что позволяет осуществлять процесс охлаждения и сжижения газообразного CO_2 наружным воздухом окружающей среды в зимний период времени при температуре от 0°C до минус 50°C [5].

Способ работы теплового двигателя на CO_2 осуществляется следующим образом. Отработавший в паровой турбине влажный пар (2%-10%) при давлении в 3,63 кПа охлаждается и конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых протекает охлаждающая жидкость. В качестве охлаждающей жидкости используется сжиженный углекислый

газ CO_2 , который сжимают в насосе до высокого давления и направляют в теплообменник-конденсатор паровой турбины типа К-500-240-2 для охлаждения отработавшего в турбине влажного пара. Конденсация 255 кг/с пара сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования равного примерно 550 МВт, которая отводится на нагрев и испарение сжиженного газа CO_2 до температуры перегретого газа в 22,29°C. На выходе из теплообменника-конденсатора паровой турбины полученный перегретый газ 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 CO_2 направляют в теплообменник-конденсатор аппарата воздушного охлаждения, где в процессе охлаждения газообразного CO_2 ниже его температуры насыщения происходит процесс интенсивного сжижения, после чего сжиженный газ направляют в насос и цикл повторяется [6].

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 экономии расхода условного топлива на станции (т.у.т./ч) и эксергетической эффективности теплового двигателя при осуществлении процесса охлаждения конденсаторов паровых турбин типа К-500-240-2 контуром циркуляции на CO_2 в зависимости от температуры наружного воздуха в зимний период времени.

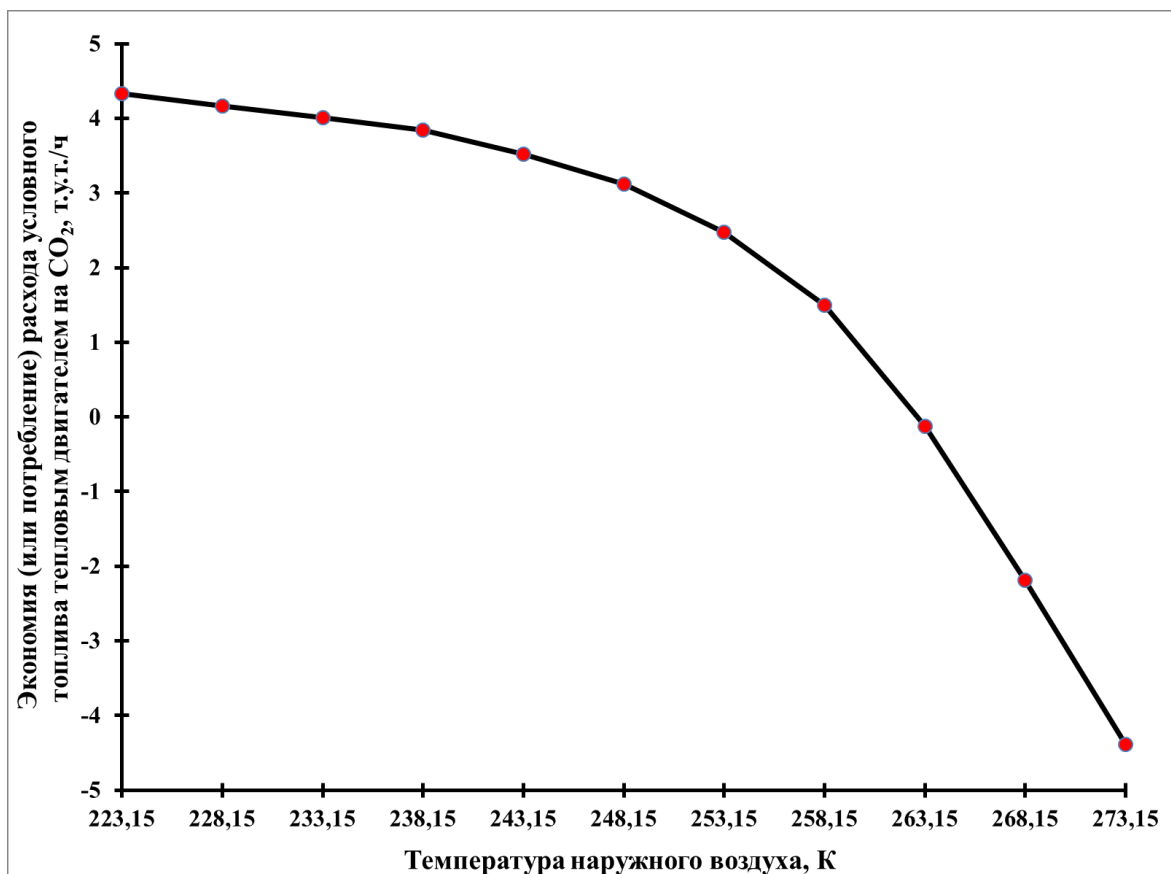


Рис. 1. Для турбин К-500-240-2 с расходом пара в конденсатор 255 кг/с.

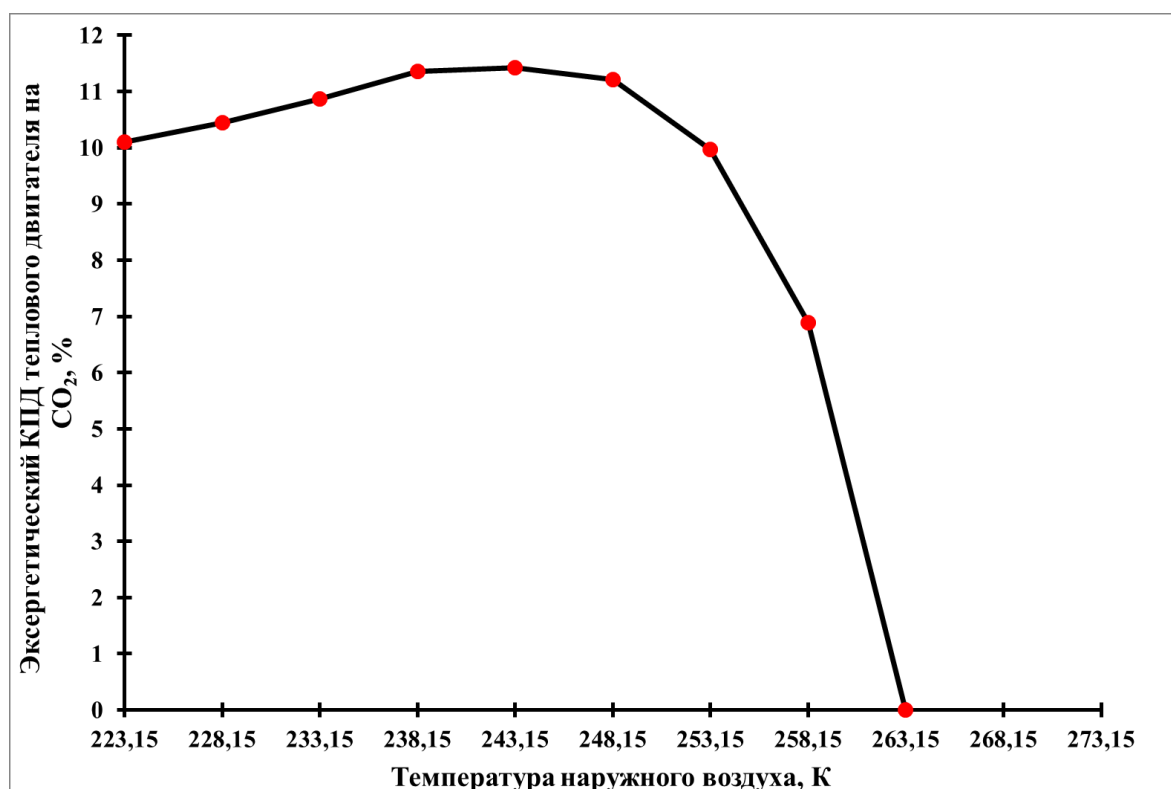


Рис. 2. Для турбин К-500-240-2 с расходом пара в конденсатор 255 кг/с.

Эксергетическая эффективность теплового двигателя (рис. 2) варьируется от 6,89% до 11,43%. При этом использование теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на CO₂ в системе охлаждения паровых турбин типа К-500-240-2 позволяет экономить (рис. 1) до 4,33 т.у.т./час на собственные нужды станции в температурном диапазоне окружающей среды от 258,15 К (-15°С) до 223,15 К (-50°С).

Использованные источники:

1. 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.
2. Турбина К-500-240-2. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.superheater.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=164&Itemid=167.
3. Патент на изобретение № 2560495 РФ. Способ работы тепловой электрической станции / Гафуров А.М., Гафуров Н.М. 20.08.2015 г.
4. Патент на изобретение № 2560496 РФ. Способ работы тепловой электрической станции / Гафуров А.М., Гафуров Н.М. 20.08.2015 г.
5. Гафуров А.М., Гафуров Н.М. Перспективы применения бинарных энергоустановок на тепловых электростанциях России. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 509-512.
6. Зайнуллин Р.Р., Гафуров А.М. Осуществление бинарного цикла в составе конденсационной паровой турбины типа К-500-240-2 ХТЗ, охлаждаемого водой при температуре 5°С. // Форум молодых ученых. – 2017. – №5 (9). – С. 792-795.