

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Денисова И.Б. Email: Denisova661@scientifictext.ru

*Денисова Ирина Борисовна – студент,
кафедра промышленной теплоэнергетики,
Высшая школа технологии и энергетики
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург*

Аннотация: данная статья посвящена одному из современных направлений в области производства электроэнергии и теплоэнергетики в целом – разработке способа повышения эффективности использования энергии от различных видов топлива и сокращения вредных выбросов в окружающую среду, а именно использованию сверхкритического диоксида углерода в качестве рабочей среды в цикле электростанции. Описаны преимущества использования sCO_2 в качестве рабочей среды, связанные с техническими особенностями эксплуатации и денежной экономией.

Ключевые слова: сверхкритический CO_2 , турбина, электростанция, эффективность.

THE USE OF SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE TO GENERATE ELECTRICITY Denisova I.B.

*Denisova Irina Borisovna – Student,
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL HEAT POWER ENGINEERING,
HIGHER SCHOOL OF TECHNOLOGY AND ENERGY
SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES AND DESIGN,
SAINT-PETERSBURG*

Abstract: this article is devoted to one of the modern trends in the production of electricity and heat power in General – the development of a way to improve the efficiency of energy use from various fuels and reduce harmful emissions into the environment, namely the use of supercritical carbon dioxide as a working environment in the power cycle. The advantages of using sCO_2 as a working environment related to the technical features of operation and monetary savings are described.

Key words: supercritical CO_2 , turbine, power plant, efficiency.

УДК 621.165

Большая часть электроэнергии в России вырабатывается с помощью паровых турбин. Пар, поступающий в турбину, генерируется посредством выделения теплоты в котельном агрегате или ядерном реакторе. Подавляющая часть электростанций работают по циклу Ренкина, в котором вырабатываемый в парогенераторе пар направляется в турбину, а затем конденсируется в конденсаторе. КПД таких станций составляет порядка 30-35%, а это означает что 65-70% произведенной теплоты выбрасывается в атмосферу в виде отходов и не превращается в электроэнергию. Чтобы повысить эффективность электростанций в настоящее время уделяется особое внимание разработке турбин на основе замкнутого цикла Брайтона с повторным сжатием. В качестве рабочей среды в этом цикле используется сверхкритический диоксид углерода (sCO_2).

Сверхкритическое состояние диоксида углерода это совокупность его свойств при температуре свыше $31,1^\circ C$ и давлении свыше 7,4 МПа. В критической точке граница раздела фаз между жидкой и газовой средой исчезает (рис.1.). Сверхкритические вещества существуют как гибрид жидкости и газа с характеристиками, представляющими нечто среднее между обоими состояниями вещества. Например, сверхкритические вещества имеют плотности, подобные жидкости, но вязкости, подобные газу. Они претерпевают большие изменения в плотности с небольшими изменениями давления или температуры – это главный плюс для эффективного использования sCO_2 в питании турбин. Проще говоря, использование sCO_2 в качестве рабочей среды означает, что для преобразования заданного количества подводимой теплоты в электричество требуется меньше работы, независимо от источника энергии (ископаемого топлива, ядерная или солнечная энергия). Там, где затраты на топливо составляют значительную часть общих затрат (угольные и газовые электростанции), выгода заключается в снижении затрат на топливо. Там, где капитальные вложения высоки (ядерная и солнечная энергетика), выгода заключается в увеличении объема производства для первоначальных инвестиций.

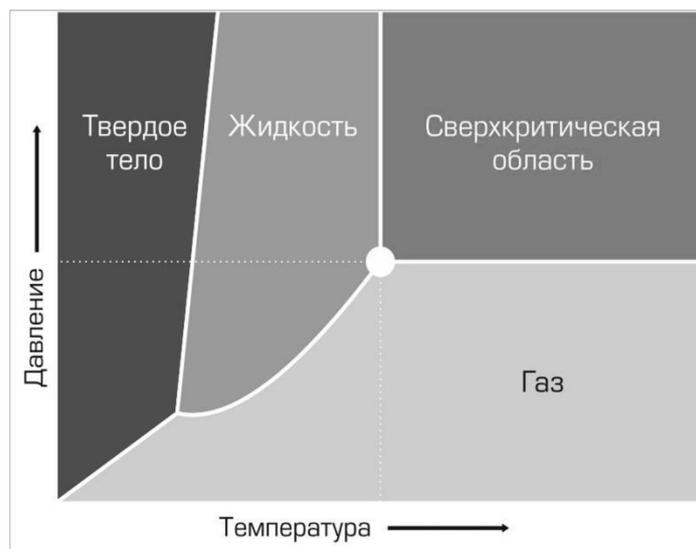


Рис. 1. Диаграмма фазовых состояний

Принципиальная схема работы электростанции на сверхкритическом диоксиде углерода представлена на рис.2. Сверхкритический CO_2 с давлением выше критического подается насосом 1 в предварительно нагретый теплообменник 2 и далее поступает в теплообменник-утилизатор 3, нагреваемый уходящими газами. Теплоту от уходящих газов воспринимает sCO_2 и с высокой энергией поступает для последующего расширения в турбогенератор, состоящий из турбины 4, редуктора 5 и электрогенератора 6. Электрогенератор производит электроэнергию 9 для потребителей, а отработавший sCO_2 охлаждается в теплообменнике 2 и конденсируется в жидкость в конденсаторах 7,8. В конденсаторе 8 для охлаждения sCO_2 используется воздух, что делает установку пригодной для засушливых районов [2].

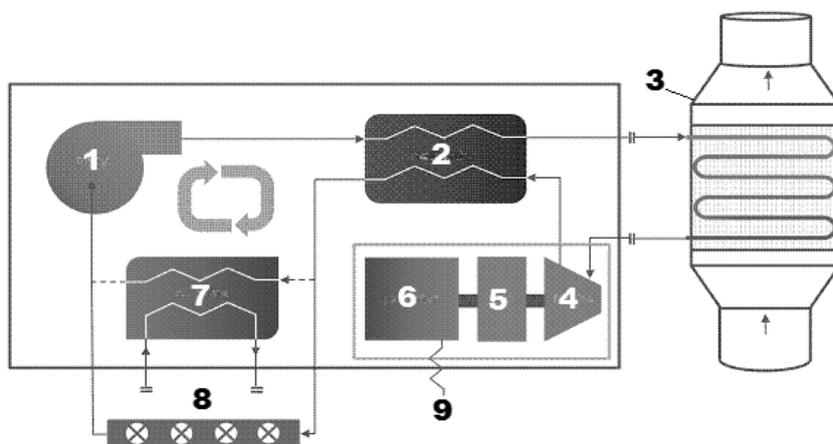


Рис. 2. Принцип работы электростанции на сверхкритическом диоксиде углерода

В отличие от двухфазного потока пар-вода, при использовании однофазного sCO_2 нет необходимости в подводе теплоты для изменения фазы, которое требуется для преобразования воды в пар, также устраняет связанную с этим эрозию металла.

Несмотря на существенно более высокую эффективность и низкие капитальные затраты, использование sCO_2 в качестве рабочей среды сопряжено с проблемами эксплуатации и выбором материала при проектировании. Например, материалы, используемые при производстве проточной части турбины, должны противостоять повреждению, вызванному высокими температурами и окислением. Чтобы устранить некоторые из этих проблем, проводились исследования со сплавами на основе никеля, аустенитными сталями, ферритными сталями и керамикой.

К 2019-2020 году министерством энергетики США будет представлена полностью работающая демонстрационная установка мощностью 100 МВт при температуре $\text{sCO}_2=550^\circ\text{C}$, которая позволит национальным лабораториям выявлять и минимизировать технические риски и испытания материалов для коммерческого применения этой технологии во многих странах [1].

1. *Jae-Eun Cha, Tae-Ho Lee, Jae-Hyuk Eoh et al.* Development of a Supercritical CO₂ Bryton Energy Conversion System Coupled with a Sodium Cooled Fast Reactor // Nuclear Engineering and Technology. October, 2009. Vol. 41, № 8. P. 1025-1040.
2. *Kimzey G.* Development of a Brayton Bottoming Cycle using Supercritical Carbon Dioxide as the Working Fluid, Gas Turbine Industrial Fellowship, University Turbine Systems Research Program, 2012.