

УДК 621.311

**ЦИКЛ АЛЛАМА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ  
СОВРЕМЕННОЙ ТЭС****ALLAMA'S CYCLE AS AN ALTERNATIVE PRINCIPLE OF  
OPERATION OF A MODERN THERMAL POWER PLANT**

А. И. Сироткин

Научный руководитель – Н. В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

A. Sirotkin

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в статье рассматривается инновационный цикл работы электростанции, созданный Роднеем Алламой, который позволяет свести к минимуму выбросы углекислого газа в атмосферу и использовать его как рабочее тело для работы турбины. При этом станции, работающие по циклу Аллама, не уступают по эффективности традиционным ТЭС.

**Abstract:** the article discusses the innovative cycle of the power plant, created by John Allama, which allows minimizing carbon dioxide emissions into the atmosphere and using it as a working fluid for turbine operation. At the same time, stations operating on the Allama's cycle are not inferior in efficiency to traditional thermal power plants.

**Ключевые слова:** цикл Аллама, тепловая электрическая станция, углекислый газ, турбина, альтернативная энергетика.

**Keywords:** Allama's cycle, thermal power plant, carbon dioxide, turbine, alternative energy.

**Введение**

На сегодняшний день становится ясно, что традиционные способы производства электроэнергии уже достигли определенного совершенства, и дальнейшие попытки увеличить эффективность ТЭС, работающей по циклу Ренкина, все реже и реже дают ощутимый результат. Кроме того, по-прежнему остается нерешенным вопрос сокращения выброса углекислого газа в атмосферу. Даже самая современная станция с инновационной системой улавливания CO<sub>2</sub> при сгорании в топках ее котлов одной тонны условного топлива будет отдавать в атмосферу 1,6 тонны этого газа [1]. А если основным топливом будет не природный газ, а, например, уголь или мазут, то выброс двуокиси углерода будет еще больше. Это заставляет многих ученых задуматься о поиске новых способов получения энергии. Некоторыми, преимущественно развитыми странами уже успешно освоена энергия ветра, воды, солнца и недр Земли. Однако в экономических целях полагаться на эти источники нецелесообразно из-за сильной зависимости от географического положения. Поэтому приходится прибегать к изменению некоторых принципов в работе ТЭС. В первую очередь это касается самого

термодинамического цикла, по которому работает станция. В частности, рассматриваемый в данной статье цикл имеет ряд существенных отличий по сравнению с традиционными.

### Основная часть

Цикл Аллама был разработан ведущим конструктором компании NET-Power, лауреатом Нобелевской премии Роднеем Джоном Алламой. В 2010 году данная технология была запатентована и через 8 лет в штате Техас (США) была построена экспериментальная станция. После успешных испытаний было принято решение о строительстве полноценной коммерческой ТЭС на 300 МВт, ввод в эксплуатацию которой запланирован на 2026 год с примерными капитальными затратами 1000 \$ за кВт [2].

Рассмотрим технологическую схему работы ТЭС по циклу Аллама (рис. 1).

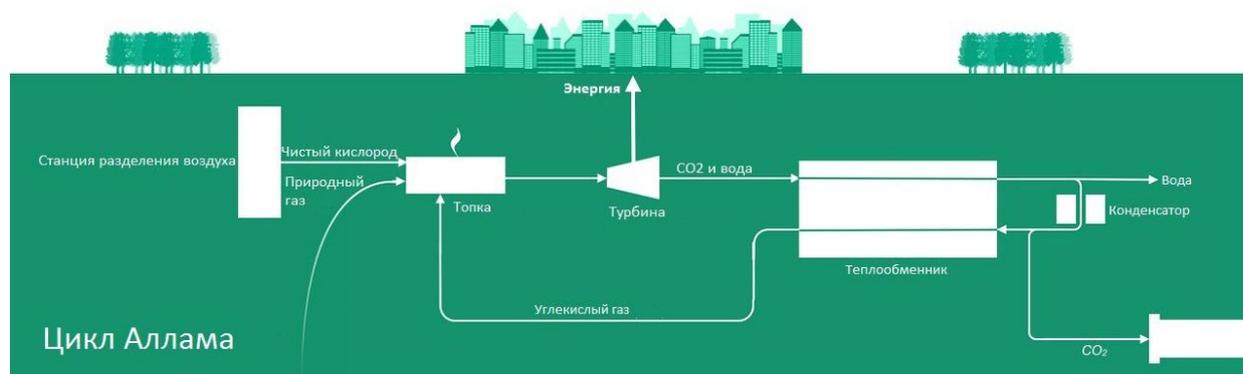
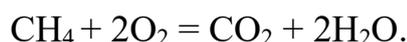


Рисунок 1 – Технологическая схема цикла Аллама [3]

Фактически, цикл Аллама – это система высокого давления – цикл Брайтона с использованием в качестве рабочего тела  $\text{CO}_2$ . В установке разделения воздуха происходит выделение из воздуха чистого кислорода. Это необходимо для того, чтобы максимально исключить образование каких-либо иных продуктов горения кроме углекислого газа и воды. Кислород, выступающий в качестве окислителя, и топливо (природный газ) подаются в камеру сгорания (на рис. 1 – топка). Кроме этих компонентов сюда же подается и уже отработавший углекислый газ, который необходим для того, чтобы понизить температуру в камере сгорания до приемлемого уровня. Таким образом, процесс горения будет протекать по следующей реакции:



Давление в процессе горения достигает 30 МПа, а изначальная смесь состоит по массе примерно из 95 % рециркулируемого углекислого газа. Полученные в ходе горения газы с высокими параметрами вращают ротор газовой турбины, вырабатывающей энергию. Давление в турбине понижается в 10–12 раз и в ее проточной части составляет 2–3 МПа. После турбины выходит докритическая смесь углекислого газа, смешанного с полученной при сгорании водой. Эта жидкость поступает в теплообменник, охлаждающий

ее до температуры ниже  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  против потока  $\text{CO}_2$ , возвращающегося в цикл. После теплообменника выхлоп турбины еще раз охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды. Это позволяет в специальном сепараторе отделить и удалить жидкую воду от двуокиси углерода и рециркулировать ее для полезного использования (на рис. 1 – конденсатор). Оставшийся, практически чистый  $\text{CO}_2$  поступает на сжатие в компрессор, после чего большая его часть возвращается обратно в цикл. В случае расположения рядом со станцией нефтяных месторождений, часть углекислого газа может отдаваться в нефтеносные пласты для повышения их отдачи.

Цикл Брайтона является основным термодинамическим циклом, по которому работают все газотурбинные установки. Фактически на его основе и была придумана рассматриваемая технология получения энергии. Идеализированные  $pV$ - и  $TS$ -диаграммы цикла Брайтона представлены на рис. 2.

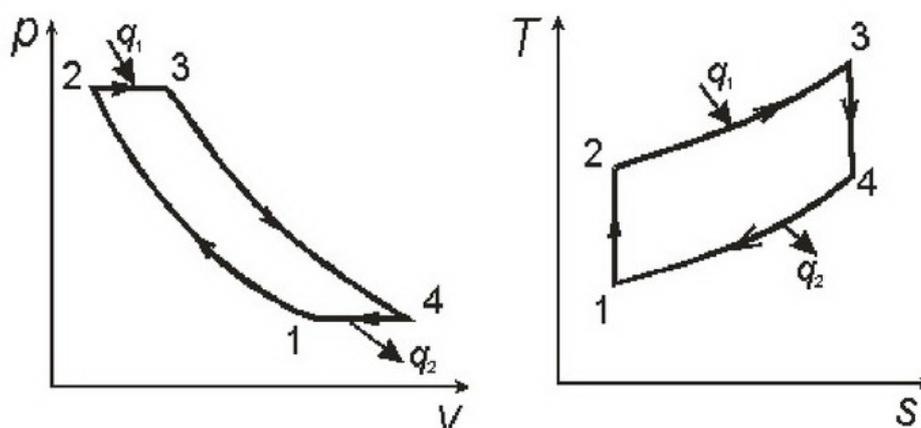


Рисунок 2 – Диаграммы цикла Брайтона [1]

Как можно увидеть из этих диаграмм, данный цикл состоит из двух изобар и двух адиабат. Первоначально топливную смесь необходимо сжать до давления, необходимого для горения. В нашем случае природный газ обычно сжимается с помощью дожимного компрессора, после станции очистки воздуха также стоит компрессор, а рециркулируемый углекислый газ приходит в камеру сгорания с высокими параметрами после сжатия насосом или компрессором (процесс 1–2 на рис. 2). Затем образовавшаяся смесь сгорает, при этом к ней подводится тепло (процесс 2–3) и в результате перед турбиной, в точке 3, параметры выхлопа имеют следующие значения: давление – 30 МПа, температура –  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]. Далее следует расширение выхлопных газов в турбине (процесс 3–4), в результате которого давление понижается, как уже сказано выше, в 10–12 раз и в конце расширения в точке 4 составляет 2–3 МПа. Затем с помощью теплообменника и сепаратора выхлоп охлаждается до температуры точки 1 при постоянном давлении и цикл повторяется снова. Как заверяют представители компании NET-Power, КПД данной системы составляет 58,9 %, что означает, что она практически не уступает по эффективности современным стандартным парогазовым блокам. Однако вполне возможно, что вследствие затрат на производство чистого кислорода и улавливания  $\text{CO}_2$  в сепараторе реальный КПД

может быть меньше. Тем не менее такое высокое значение КПД цикла обусловлено тем, что здесь нет конденсационных потерь, как в цикле Ренкина, и необходимая для сжатия смеси работа намного меньше, чем в обычном цикле Брайтона, в котором рабочее тело сжимается в газовой фазе.

Несмотря на достаточно новые и нестандартные решения, примененные при разработке этого цикла, практически все оборудование, необходимое для постройки станции, имеется в продаже, за исключением турбины. Для того, чтобы газотурбинная установка могла выдержать такие высокие параметры топливной смеси, японской компании Toshiba пришлось провести целый комплекс исследований, связанных с разработкой камеры сгорания, системы охлаждения, термобарьерных покрытий и т. д. В результате японцы смогли создать турбину «sCO<sub>2</sub>» мощностью 25 МВт. Ее основной особенностью является конструкция с двойным кожухом, позволяющим выдерживать столь высокое давление. Кроме того, система охлаждения в этом агрегате реализована с использованием рециркулируемого углекислого газа, что также позволило конструкторам и проектировщикам станции не беспокоиться о поиске инженерных решений для охлаждения турбины.

### **Заключение**

Таким образом, в результате инженеры компании NET-Power смогли разработать технологию выработки энергии, полностью использующую весь выделяемый CO<sub>2</sub>. Стоит подчеркнуть, что основными особенностями станции, работающей на цикле Аллама являются следующие:

Весь углекислый газ, образующийся при сжигании, улавливается и используется рационально, причем без использования какого-либо дополнительного оборудования;

Извлеченный CO<sub>2</sub> имеет необходимое давление для подачи его в трубопровод в случае необходимости его использования за пределами станции (например, на нефтяных месторождениях);

КПД данного цикла, несмотря на определенные изменения в принципе работы, практически не отличается от КПД парогазовых блоков, что свидетельствует о возможной перспективе развития этих исследований и привлекает к ним инвестиции.

В настоящее время планируется строительство еще нескольких ТЭС, работающих по циклу Аллама: мощностью по 280 МВт в штате Колорадо и в штате Иллинойс (США).

### **Литература**

1. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А. Г. Костюк [и др.]. 4-е изд. – М. : Издательство МЭИ. – 2016.
2. В Техасе построят первую коммерческую ТЭС мощностью 300 МВт, работающую по циклу Аллама // Газотурбинные технологии. – 2022. – № 6. – С. 40–42.
3. NET Power's technology is simple [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://netpower.com>. – Дата доступа: 26.03.2023.