

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦИКЛ ГТУ

Золотухина Е.Ю.^{1,2}, Аникина И.Д.²

¹АО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург, kirshina.elena.yu@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: газовая турбина, ГТЭ-65, твердооксидный топливный элемент, газовая турбина с впрыском пара, компрессор, камера сгорания

Идея применения топливных элементов (ТЭ) в различных сферах промышленности зародилась еще в 20 веке. Свое применение они нашли в автомобильной промышленности, в качестве аккумуляторных батарей для портативных устройств, в теплоэнергетике и других отраслях. Наиболее развитыми являются технологии применения ТЭ в легковых и грузовых автомобилях. Однако, сейчас их начали активно развивать для работы на станциях как самостоятельные установки по выработке электрической энергии и теплоты, так и для работы в качестве гибридных энергетических установок (ГЭУ) [1, 2].

Целью работы является разработка новых решений для повышения энергоэффективности газовых турбин и тепловых электрических станций в целом.

Основной гипотезой данного исследования выдвигалось предположение, что внедрение ТЭ в схему работы газотурбинного двигателя позволит в значительной степени увеличить технические, экологические и экономические показатели всей электрической станции.

В качестве объекта для исследований взяты газовая турбина ГТЭ-65, производства АО «Силовые машины» и твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) для изучения взаимодействия двух систем друг с другой и их влияние на технические параметры ГЭУ.

В ходе выполнения работы был поставлен обширный перечень задач, а именно:

- изучить научную литературу и ознакомиться с аналогами работ, выявить недостатки проводимых исследований и определить пути их решения;
 - разработать схемные решения реализации ГЭУ на базе ГТЭ-65 и ТОТЭ;
 - выполнить расчет разработанных схем с применением специализированных программных обеспечений;
 - с полученными результатами, доказав или опровергнув поставленную ранее гипотезу.
- В работе были применены следующие методы:
- эмпирический, в ходе которого проводился анализ применяемых в работе установок, а также проводилось общение с различными исследователями по данной тематике;
 - теоретический, основанный на изучении материалов статей и книг различных ученых и исследователей в данной области, а также было произведено первичное моделирование предлагаемого решения;
 - количественный метод, основанный на выполнении расчетов разработанных решений и сопоставления полученных данных с реальными установками, на аналогии которых были проведены исследования и расчеты.

В результате исследования было разработано три схематических решения для работы газовых турбин с ТОТЭ. За основу были взяты ранние решения и модификации газовых турбин, а именно метод впрыска пара в различные их узлы [3-5].

Первая схема ГЭУ представляет собой газотурбинную установку (ГТУ) с полностью замещенной камерой сгорания на ТЭ. При таком варианте компоновки необходимо будет полностью пересмотреть строение ГТУ и выполнить ряд инженерных задач для реализации данной установки. Однако, при таком варианте работы вырабатываемая мощность ГЭУ возрастает на 34 % до 82,4 МВт, а КПД установки по выработке электрической энергии увеличивается на 23 % до 43,3 %.

Вторая схема представляет собой ГТУ с впрыском воды, с размерами капель менее 25 мкм в промежуточный узел компрессора, увеличивая тем самым степень сжатия и повышения давления, повышая массу воздуха, увеличивая эффективность при повышении температуры окружающего воздуха и экономия топлива. При такой схеме работы мощность установки увеличивается на 9 % за счет добавления воды в тракт ГТУ и на 23 % за счет работы ТОТЭ. Суммарно мощность ГЭУ увеличилась до 89,4 МВт, а электрический КПД вырос суммарно до 48,2 %.

Третья схема ГЭУ является аналогией второй схемы, но в данном решении предлагается выполнить впрыск водяного пара в камеру сгорания (КС).

Впрыск водяного пара в КС позволяет оптимизировать следующие характеристики:

- улучшение термодинамической эффективности цикла за счет улучшения смесеобразования и более полного сгорания топлива в КС, что приводит к более высокой теплотворной способности;
- снижение температуры в КС, при снижении рисков перегрева;
- снижение выбросов NOx за счет снижения пиковых температур в КС;
- снижение риска образования углеродных отложений и других, загрязняющих КС отложений.

Впрыск пара в КС ГТУ приводит к снижению эмиссии NOx на 12%, увеличению мощности установки до 75,6 МВт, а также увеличению КПД установки до 43,5 %. При этом, за счет включения в схему ТОТЭ суммарная мощность ГЭУ увеличится до 104 МВт, а КПД по выработке электрической энергии до 49,9 %.

Согласно полученным расчетным данным можно сделать вывод, что внедрение предложенных ГЭУ позволит увеличить вырабатываемую суммарную мощность установкой и в значительной степени увеличить электрический КПД такой установки. Также внедрение двух последних вариантов ГЭУ позволит сделать установку более вариативной и позволит выводить ТОТЭ из работы при необходимости их технического обслуживания без остановки всей установки.

Такой принцип работы ГТУ совместно с ТОТЭ не был предложен и тем более не реализован, что дает возможность определенную нишу в данной области исследований и реализовать установки, ранее не разрабатываемые прямыми конкурентами.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в создании принципиально новых технологических решений в области энергетики. Реализация данного исследования в значительной степени позволит повысить конкурентные преимущества, количество и качество предлагаемых заказчику решений, разрабатываемый на предприятии.

Список литературы

1. Кашин, А. М. Энергетические установки с топливными элементами – перспективы практического использования в электроэнергетике / А.М. Кашин, А.Э. Голодницкий. – М.: Вести в электроэнергетике, 2019. – № 1. – 221 с.
2. Гибридные топливные элементы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.energovector.com/energogznanie-gibridnye-toplivnyeelementy.html> (дата обращения: 13.01.2025).
3. Парогазовая установка с вводом пара в газовую турбину – перспективное направление развития энергетических установок / Ю.А. Зейгарник, С.З. Копелев [и др.]. – М.: Теплоэнергетика, 1993. – С. 46-52.
4. Бунькова, О.И. Влияние впрыска пара в газовую турбину на эффективность цикла / О.И. Бунькова, Т.Ф. Богатова // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.) – Екатеринбург, 2019. – С. 794-797.

5. Шишин, А.А. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 / А.А. Шишин, А.В. Титов, Б.М. Осипов, В.В. Кривоносова. – Казань: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2012. – С. 47-51.

Сведения об авторах

Золотухина Елена Юрьевна – соискатель ученой степени при высшей школе атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета (СПбПУ), инженер-конструктор 1 категории сектора АСУ ТП ТЭС АО «Силовые машины». Область научных интересов: математическое моделирование комбинированных установок для тепловых электростанций.

Аникина Ирина Дмитриевна – к.т.н., доцент высшей школы атомной и тепловой энергетики, Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ). Область научных интересов: оптимизация схем энергетических установок и систем для генерации и трансформации энергоносителей, основанных на принципах их комбинированного производства.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE INTRODUCTION OF FUEL CELLS INTO THE GTU CYCLE

Zolotukhina E.Yu.^{1,2}, Anikina I.D.²

¹ JSC “Power machines”, St.Petersburg, kirshina.elena.yu@yandex.ru

² St. Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg

Keywords: gas turbine, GTE-65, solid oxide fuel cell, gas turbine with steam injection, compressor, combustion chamber

Modern turbine engineering achieves a significantly lower increase in efficiency and their individual capacities, which necessitates the development of hybrid power plants (HPP). This article discusses a power plant using a gas turbine unit and fuel cells. When they are combined, it becomes possible to design power plants with an efficiency of electricity output exceeding 70%.