

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию РАМАЗАНОВА Эльдара Рамазановича
«Методика параметрической оптимизации бескомпрессорных парогазовых
установок с полным улавливанием углекислого газа внутри цикла»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика

Актуальность работы

Диссертационная работа Э.Р. Рамазанова посвящена вопросам оптимизации параметров парогазовых установок нового класса — бескомпрессорных ПГУ с полным улавливанием углекислого газа внутри цикла. Таким образом, тематика работы относится к весьма актуальной области исследований, направленных на достижение углеродной нейтральности в энергетике. Промышленных установок данного класса пока не построено, имеются лишь несколько опытных экземпляров. Поэтому оптимизация их параметров является важнейшей задачей их предпроектной проработки. Следует также признать, что аппарат описания энергетических и энерготехнологических установок, разработанный к настоящему времени в рамках схемно-параметрической оптимизации промышленных установок и производств, требует доработки именно в связи с потенциальной возможностью внутрициклового улавливания CO_2 . Это обусловлено, в частности, наличием в цикле фазовых переходов диоксида углерода вблизи критической точки, а также вероятной неустойчивостью теплофизических свойств рабочих тел при экстремально высоких параметрах, о чем свидетельствуют противоречивые экспериментальные данные. Подобные задачи прежде решались при разработке способов улавливания CO_2 после сжигания, поэтому применительно к внутрицикловому улавливанию ПГУ они обладают самостоятельной научной ценностью. В силу указанных причин диссертационная работа Э.Р. Рамазанова имеет актуальное целеполагание, новый объект и рациональный предмет исследования.

Достоверность и новизна результатов диссертации

В работе получены следующие результаты, обладающие **научной новизной**:

1. Построены коды, позволяющие рассчитать характеристики рабочего тела произвольного состава для экстремально высоких параметров, характерных для кислородного сжигания.
2. Разработаны математические модели элементов БКПГУ и установки в целом.
3. Теоретически обоснованы оптимальные параметры работы БКПГУ, даны рекомендации к выбору оптимальных параметров опытного образца рассматриваемой установки.

Достоверность результатов диссертации определяется:

1. Внутренней непротиворечивостью полученных результатов, соответствием расчетных величин их теоретическому основанию.

2. Хорошей сходимостью расчетных параметров рабочего тела к известным справочным данным.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации обоснованы корректным использованием известных научных методов. Научные положения в полной мере раскрыты как в диссертации, так и в автореферате. Обоснованность выводов и рекомендаций подтверждена актом о внедрении, представленным научной организацией.

Ценность для науки и практики результатов работы

Ценность результатов работы заключается в разработке математического аппарата, позволяющего моделировать и проводить оптимизационные исследования парогазовых установок, реализующих новое схемное решение. Кроме того, результаты и рекомендации, полученные в работе использованы при проектировании опытной установки БКПГУ, создаваемой в ОИВТ РАН. В частности, в работе обоснованы рекомендуемая единичная мощность установки и рекомендуемые значения ее ключевых рабочих параметров.

Основные научные положения, методики и результаты работы изложены в 8 публикациях, в том числе 4 – в изданиях, рецензируемых в международных базах данных и системах цитирования, рекомендованных ВАК; 1 – в издании из перечня РУДН.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа содержит следующие разделы: введение, 5 глав, заключение, список источников и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность работы, обозначены цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена аналитическому обзору тенденций развития объектов генерации электрической и тепловой энергии. Обоснован выбор объекта исследования – бескомпрессорной парогазовой установки. Обзор служит подтверждением актуальности выбранного направления диссертационного исследования, а также его практической значимости.

Во **второй главе** описаны математические модели, описывающие термодинамические свойства рабочего тела БКПГУ как для случая чистых веществ, так и для смеси изменяющегося состава. Используются уравнения состояния, допускающие учет эффектов вблизи критической точки. На основе этих моделей выполняются расчеты термодинамических процессов. Сопоставление расчетных данных для каждого из чистых компонентов рабочего тела с достоверными справочными данными показало хорошее соответствие результатов.

В **третьей главе** описана комплексная математическая модель БКПГУ. Представлены системы уравнений, описывающих характерные части установки. Как следует из текста главы, представленная в третьей главе модель является имитационной и не позволяет оптимизировать независимые параметры. Таким образом, оптимизация параметров установки возможна только путем вариантных расчетов.

В **четвертой главе** рассмотрены принципы и приемы параметрической оптимизации. Предложен итерационный подход решения оптимизационной задачи, где итерация увязывается со стадией проектирования объекта генерации энергии. На ранней стадии проектирования и, соответственно, на ранней итерации решения оптимизационной задачи обосновывается выбор критерия оптимальности, связанный с топливной составляющей себестоимости электроэнергии.

В **пятой главе** приведены результаты исследования оптимальных параметров опытно-промышленной бескомпрессорной парогазовой установки с использованием разработанных программно-вычислительных модулей. В качестве независимых параметров приняты начальное давление и степень расширения в турбине, а также соотношение расходов водяного пара и CO_2 . По результатам оптимизационных расчетов даны рекомендации по выбору параметров пилотного образца БКПГУ.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Содержание автореферата отражает содержание диссертации.

Замечания по работе

1. По тексту работы, особенно в четвертой главе, многократно упоминается концепция оптимальных параметров энергетических комплексов. При этом сама концепция по тексту диссертационной работы не изложена, и не вполне ясно, что входит в положения данной концепции. Представленные в четвертой главе положения варьируются от оригинальных до общеизвестных, которые из них автор включает в состав своей концепции, а которые нет — остается не раскрытым. То ли это описанная автором итерационная процедура, то ли выбор величины стоимости энергии в качестве критерия оптимизации, то ли что-то еще.

2. Автор оставил за рамками рассмотрения своей диссертационной работы вопрос о средствах реализации своего программного комплекса. В тексте диссертации не содержится ни описания, ни упоминания инструментов, посредством которых он реализует разработанные им программы для расчета свойств рабочего тела и моделирования установки. В этой связи выглядят не вполне уместными листинги программ, реализующих расчетные процедуры.

3. Предложенный подход к оптимизации параметров схемы энергетической установки основан на применении имитационной модели, не допускающей оптимизации независимых параметров иначе, чем путем вариантных расчетов. Следует отметить, что это не вполне тот подход, который в настоящее время принято называть схемно-параметрической оптимизацией, хотя он и ведет к оптимизации параметров реальной установки.

4. Как следует из формул, представленных в третьей главе, турбина и компрессоры в составе установки всегда работают в адиабатических режимах. Не понятно, на чем основана уверенность автора в правомерности таких допущений. Более логично было бы предусмотреть некие теплотери в данных элементах установки.

5. В работе отсутствует математический анализ задачи: к какому классу задач относится оптимизация установки, является ли задача выпуклой либо многоэкстремальной, насколько применимы выбранные автором алгоритмы для решения задач именно этого математического класса. В описании метода решения для задач расчета параметров рабочего тела упомянут метод Рунге-Кутты, но не указана его разновидность - порядок и пр.

6. В составе расчетной схемы не описаны с достаточной подробностью параметры применяемой турбины. Поскольку в схеме представлена только одна турбина, но речь идет о ПГУ, следует предположить, что подразумевается совмещенная одновальная турбина. Не вполне понятно, почему автор не рассмотрел отдельную схему с промежуточным перегревом пара, для которого в схеме имеются источники дополнительного тепла.

7. Во введении к работе автор приводит величины валовых выбросов парниковых газов, относя их к хозяйственной деятельности человека в 2018 году. Согласно данным Международного энергетического агентства, указанные автором величины относятся к 2018 году, однако соответствуют не всей хозяйственной деятельности человека, а лишь энергетическому использованию ископаемых топлив. В настоящее время антропогенный вклад в выбросы парниковых газов составляет около 37 Гт CO₂-экв. Данное замечание не снижает значимости работы, однако хотелось бы, чтобы автор тщательнее проверял используемые значения величин.

Заключение

Диссертационное исследование Рамазанова Эльдара Рамазановича «Методика параметрической оптимизации бескомпрессорных парогазовых установок с полным улавливанием углекислого газа внутри цикла» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение. Полученные автором результаты достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Не смотря на сделанные выше замечания, работа Э.Р. Рамазанова соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, отвечает критериям п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного 23.09.2019 Ученым советом РУДН, протокол № 12, а её автор, Рамазанов Эльдар Рамазанович, заслуживает

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник

ФГБУН Институт энергетических исследований

Российской академии наук

доктор технических наук (2.4.5)



Кейко Александр Владимирович

« 07 » декабря 2022 г.



Почтовый адрес:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических исследований Российской академии наук (ИИЭИ РАН), 117186, г. Москва, ул. Нагорная, д.31, корп.2.

Тел.: 499 127 46 64

E-mail: info@eriras.ru