

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Буданова Виталия Александровича  
на диссертационную работу Хусаинова Кирилла Руслановича  
на тему «Повышение эффективности работы парогазовой ТЭС за счет  
промежуточного перегрева водяного пара», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

**Актуальность работы.** В настоящее время на тепловых электрических станциях осуществляется полномасштабное строительство парогазовых установок (ПГУ), которые характеризуются высокими значениями КПД и малыми выбросами вредных веществ в окружающую среду. Однако, несмотря на очевидные преимущества парогазовых установок, по-прежнему, важным остается вопрос дальнейшего повышения КПД комбинированного цикла, на который оказывает влияние степень совершенства паротурбинного цикла, КПД которого невелик. Вместе с тем совершенствование паротурбинного цикла может обеспечить существенное повышение экономичности всей утилизационной ПГУ – до 2,5-3 %.

Наличие проблемы увеличения КПД паротурбинного цикла обусловлено невозможностью использования регенеративных отборов для подогрева турбинного конденсата и питательной воды, а также техническими сложностями достижения высоких параметров перегретого пара в котле-утилизаторе.

В качестве альтернативного способа достижения более высокого КПД паровой турбины следует отметить промежуточный перегрев пара. При этом возникает ряд вопросов, которые следует решать на научном уровне: во-первых, характер передачи тепловой энергии к вторично перегреваемому пару; во-вторых, выбор параметров пара, отбираемого на вторичный перегрев; в-третьих, анализ влияния переменных режимов (отклонения параметров от номинального значения, пуск/останов оборудования) и изменения условий окружающей среды на работу ПГУ.

В диссертационной работе изложены результаты исследования влияния промежуточного перегрева пара на экономичность работы парогазовых установок с двухконтурными, а также с трехконтурными котлами-утилизаторами, на примере парогазовых энергоблоков ПГУ-450 и ПГУ-800. Выполнен комплексный анализ тепловых схем указанных парогазовых установок на предмет выявления полезно не используемой или не утилизированной теплоты с целью осуществления промежуточного перегрева пара. Разработаны и предложены к использованию на парогазовых ТЭС два способа промежуточного перегрева пара в ПГУ: в камере сгорания ГТУ, а также в хвостовой части котла-утилизатора. Проведен анализ работы ПГУ с двукратным вторичным перегревом пара.

Таким образом тема диссертационной работы, безусловно, являются актуальной.

Основной **целью работы** является разработка научно-обоснованных технических и технологических решений для повышения эффективности работы парогазовой установки утилизационного типа путем применения промежуточного перегрева водяного пара, частично отработавшего в паровой турбине, и общих рекомендаций по использованию промежуточного перегрева водяного пара на парогазовых ТЭС.

Диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты, а актуальность темы диссертационной работы подтверждается ее соответствием приоритетному направлению развития науки, технологии и техники в Российской Федерации.

Цель диссертационной работы, которая состоит в повышении эффективности работы ПГУ путем использования промежуточного перегрева пара, достигнута формулировкой и решением следующих **задач**:

1. Выполнение обзора научной литературы и анализа разработок отечественных и зарубежных ученых по тематике диссертационного исследования.
2. Экспериментальное обследование парогазовой установки Сызранской ТЭЦ с целью определения корректности методики теплового расчета путем сравнения с данными численного расчета.
3. Проведение теплового и эксергетического анализа на основе составленных методик расчета разработанных и предложенных к использованию на парогазовых ТЭС новых способов работы и перспективных схем ПГУ с промежуточным перегревом пара, частично отработавшего в турбине.
4. Выполнение технико-экономического анализа новых перспективных схем парогазовых установок с промежуточным перегревом пара.
5. Проведение общей оценки эффективности предложенных к использованию на парогазовых ТЭС новых способов вторичного перегрева пара для парогазовых установок двух и трех давлений.

**Теоретическая значимость диссертационной работы для науки и энергетики** заключается в разработке новых тепловых схем и способов работы ПГУ с промежуточным перегревом пара, нацеленных на повышение КПД современных парогазовых энергоблоков, которые могут быть использованы в энергетике с целью увеличения электрической мощности и повышения тепловой экономичности парогазовой ТЭС в целом. На основе результатов численного расчета получены новые данные, характеризующие эффективность применения различных способов промежуточного перегрева пара применительно к парогазовым установкам двух и трех давлений.

**Практическая значимость диссертационной работы для науки и энергетики** заключается в разработке новых технологий промежуточного перегрева пара в ПГУ, которые могут быть использованы при проектировании новых или модернизации действующих парогазовых энергоблоков. Положительным моментом является то, что результаты диссертационного исследования рекомендованы к внедрению филиалом «Самарский»

ПАО «Т Плюс» и внедрены в учебный процесс на кафедре «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в разработке новых способов промежуточного перегрева пара в ПГУ утилизационного типа, в частности в камере сгорания газотурбинной установки, а также в хвостовой части котла-утилизатора; в оценке их эффективности путем проведения теплового, эксергетического и экономического анализа на основе полученных новых расчетных данных.

**Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы** обеспечиваются использованием апробированных методов, которые основаны на фундаментальных законах технической термодинамики, патентной чистотой разработанных технических решений.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и пяти приложений и изложена на 151 странице.

Во введении обосновывается тема работы, ее актуальность и практическая значимость, формулируются цели и задачи работы, их новизна и выносимые на защиту положения.

В главе 1 диссертации автор делает обзор существующих парогазовых технологий в России и за рубежом, проводит анализ современных схем парогазовых установок утилизационного типа с промежуточным перегревом водяного пара. На основании представленных в научной литературе публикаций по теме практического применения промежуточного перегрева водяного пара в парогазовых установках автор формирует перечень задач исследований в рамках диссертации.

Следующие главы диссертации посвящены описанию решений основных поставленных задач.

Глава 2 посвящена расчётно-аналитическим исследованиям применения промежуточного перегрева водяного пара в парогазовых установках с двухконтурным котлом-утилизатором.

Автором предложена методика теплового расчета ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором, которая апробирована при расчёте ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ. Результаты численного расчёта тепловой схемы ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ соотнесены с результатами натурного эксперимента. Результаты сравнительного анализа полученных результатов подтверждают корректность теплотехнического расчета. Далее автор рассматривает следующие технические решения:

- промежуточный перегрев водяного пара в зоне высоких температур двухконтурного котла-утилизатора;
- промежуточный перегрев водяного пара в хвостовой части двухконтурного котла-утилизатора;

– промежуточный перегрев водяного пара в камере сгорания газотурбинной установки.

В первом случае автор справедливо указывает, что за счет подвода к вторично перегреваемому пару дополнительного количества теплоты возрастает его теплоперепад в цилиндре низкого давления паровой турбины, что приводит к увеличению термического КПД цикла парогазовой установки и возрастанию конечной степени сухости водяного пара, благодаря чему снижается эрозионный износ лопаток последней ступени турбины и повышается надежность ее работы. Однако возникает естественный вопрос: почему не рассматривается возможность дальнейшего повышения экономичности схемы за счёт увеличения давления перегретого пара? Ведь конечная степень сухости это позволяет сделать. К сожалению, этот вопрос в диссертации не рассмотрен.

В случае промежуточного перегрева водяного пара в камере сгорания газотурбинной установки автор предлагает разместить с наружной стороны камеры сгорания кольцевой канал, в котором будет осуществляться перегрев пара. Однако таким образом невозможно повысить температуру пара до  $512\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так как пар в данном случае будет перегреваться воздухом из компрессора с меньшей температурой. Данный способ перегрева возможен, но потребует разработки принципиально новой камеры сгорания газовой турбины. Тепло в данном случае придётся отбирать от стенок пламенной трубы. Для оценки экономичности схемы ПГУ в данном случае необходимо знать количество тепла, которое отводится в системе охлаждения пламенных труб камеры сгорания, т.к. оно передаётся пару. От его величины зависит – на сколько вырастет КПД. Из текста диссертации неясно, каким образом определялся этот параметр: рассчитывалась система охлаждения элементов камеры сгорания, либо были взяты данные завода изготовителя ГТУ, либо принимался этот параметр из каких-либо соображений.

Глава 3 посвящена расчётно-аналитическим исследованиям применения промежуточного перегрева водяного пара в парогазовых установках с трёхконтурным котлом-утилизатором. Автор рассматривает следующие технические решения:

- промежуточный перегрев водяного пара в зоне высоких температур трехконтурного котла-утилизатора;
- двукратный промежуточный перегрев водяного пара в контурах высокого и среднего давления котла-утилизатора;
- двукратный промежуточный перегрев водяного пара в зоне высоких температур и в хвостовой части трехконтурного котла-утилизатора.

Первый вариант является «классическим». Он реализован в отечественной ПГУ-800. В диссертации автор проводит его расчётно-аналитическое исследование с целью выявления возможности дальнейшего повышения КПД ПГУ. Следующие два варианта разработаны и предложены лично автором с целью повышения КПД трёхконтурной ПГУ.

В случае двукратного промежуточного перегрева водяного пара в контурах высокого и среднего давления котла-утилизатора, автор предлагает разместить дополнительный пароперегреватель в зоне котла-утилизатора между испарителем среднего давления (ИСД) и водяным экономайзером среднего давления (ЭКСД). Однако это приведёт к увеличению количества цилиндров низкого давления паровой турбины (ЦНД). Вместо одного ЦНД придётся разработать два новых цилиндра на другие параметры рабочего тела. Кроме того, появятся дополнительные потери в тракте промперегрева низкого давления. В связи с этим сложно оценить, как поменяется КПД паровой турбины после модернизации. А он также влияет на расчётный КПД ПГУ. В диссертации по этому поводу комментарии отсутствуют.

При рассмотрении второго варианта – двукратного промежуточного перегрева водяного пара в зоне высоких температур и в хвостовой части трехконтурного котла-утилизатора, то же самое можно сказать и про цилиндр среднего давления, который необходимо «разделить» на два. Кроме этого, в данном варианте, при установке дополнительного пароперегревателя в «хвостовой» части котла-утилизатора, значительно повышается температура уходящих газов. Для её понижения автор предусматривает установку газового подогревателя сетевой воды (ГПСВ). Однако трёхконтурные схемы почти не применяются на ТЭЦ. Возникает вопрос: что делать, если нет теплового потребителя, куда использовать тепло, «снятое» с ГПСВ? В диссертации этот вопрос, к сожалению, не рассматривается.

В Главе 4 автор выполнил эксергетический и экономический анализы эффективности рассмотренных в диссертации способов промежуточного перегрева пара в парогазовых установках. В результате этого автором установлено, что с эксергетической точки зрения для двухконтурных установок более предпочтительной является схема с промежуточным перегревом пара в хвостовой части котла-утилизатора, а для трехконтурных – схема с двукратным промежуточным перегревом пара в зоне высоких температур и в хвостовой части котла-утилизатора.

#### **Заключение по диссертационной работе.**

Оценивая диссертационную работу Хусаинова К.Р. в целом, можно утверждать, что она свидетельствует о высокой квалификации автора, его способностях разобраться, ставить и решать достаточно сложные научные и инженерные задачи. Диссертация представляет собой вполне законченный и логичный научный труд.

Автор имеет 25 научных публикаций по теме диссертации, в том числе 8 – в рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК и 3 патента на изобретения РФ.

Результаты работы докладывались на международных и Всероссийских научных конференциях и прошли публичное обсуждение.

Автореферат и научные публикации полностью соответствуют содержанию диссертации и ее основным выводам.

Несмотря на сделанные ранее замечания, изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что диссертация Хусаинова Кирилла Руслановича на тему «Повышение эффективности работы парогазовой ТЭС за счет промежуточного перегрева водяного пара» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития теплоэнергетики России, что отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. в редакции от 29.05.2017 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Диссертация заслуживает положительной оценки, а ее автор Хусаинов К.Р. достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

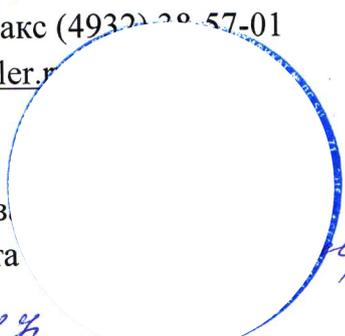
### Официальный оппонент

доцент кафедры «Паровые и газовые турбины»  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный  
энергетический университет  
имени В.И.Ленина»  
кандидат технических наук, доцент

Буданов  
Виталий Александрович

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.  
Тел. (4932) 32-72-43, факс (4932) 32-57-01  
e-mail: [vabudanov@rambler.ru](mailto:vabudanov@rambler.ru)

Подпись Буданова В.А. з  
Ученый секретарь Совета



Ширяева О.А.

20.09.2017