

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 222.001.01 на базе ОАО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ») по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

г. Москва

21 января 2016 года

Председатель диссертационного совета – доктор технических наук, профессор Тумановский А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета – доктор технических наук, Березинец П.А.

Тумановский А.Г.: Уважаемые члены диссертационного совета, сегодня на рассмотрение представлена диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук Калининым Александром Юрьевичем «Исследование работы воздушно-конденсационных установок паротурбинных ТЭС при неравномерном теплоотводе» по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

На заседании присутствует 16 членов совета из 21, утвержденных ВАК. По специальности 05.14.14 - 9.

Список присутствующих на заседании ДС:

1.	Тумановский Анатолий Григорьевич (председатель совета)	д.т.н., 05.04.12
2.	Ольховский Гурген Гургенович (заместитель председателя)	д.т.н., 05.04.12
3.	Березинец Павел Андреевич (ученый секретарь совета)	д.т.н., 05.14.14
4.	Агабабов Владимир Сергеевич	д.т.н., 05.14.14
5.	Аракелян Эдик Кайрунович	д.т.н., 05.14.14
6.	Балабан-Ирменин Юрий Викторович	д.т.н., 05.14.14
7.	Богачев Владимир Алексеевич	д.т.н., 05.14.14
8.	Гладштейн Владимир Исаакович	д.т.н., 05.04.12
9.	Горлов Евгений Григорьевич	д.т.н., 05.14.14
10.	Грибин Владимир Георгиевич	д.т.н., 05.04.12

11.	Гринь Евгений Алексеевич	д.т.н., 05.14.14
12.	Корнеев Сергей Дмитриевич	д.т.н., 05.14.14
13.	Куличихин Владимир Васильевич	д.т.н., 05.04.12
14.	Куменко Александр Иванович	д.т.н., 05.04.12
15.	Трухний Алексей Данилович	д.т.н., 05.04.12
16.	Шварц Анатолий Лазаревич	д.т.н., 05.14.14

Официальные оппоненты:

Зарянкин Аркадий Ефимович, лауреат государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Паровых и газовых турбин им. А. В. Щегляева [ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»];

Аронсон Константин Эрленович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Турбины и двигатели» ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Оба оппонента присутствуют на заседании.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе. Сибирское отделение Российской академии наук (ИТ СО РАН). Представителей организации нет.

Научный руководитель – Мильман Олег Ошерович, лауреат государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, директор по науке ЗАО НПВП «Турбокон». Слово для зачитывания справки по предстоящей защите предоставляется секретарю диссертационного совета Павлу Андреевичу Березинцу.

Березинец П.А.: Калинин Александр Юрьевич 1987 г.р. 2009 г. окончил ГОУ ВПО «Калужский государственный педагогический университет им. К.Э. Циолковского». С 2009 по 2011 год работал в должности инженера-исследователя ЗАО НПВП «Турбокон» С 2011 по 2014 год в должности

инженера-проектировщика ООО «Энергомонтаж», С 2014 по н.в. работает инженером-конструктором АО «Тайфун»

В 2012 году окончил очную аспирантуру при ГОУ ВПО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского». Кандидатские экзамены сданы на «отлично».

Неоднократно участвовал в научных конференциях (школа -семинар молодых ученых и специалистов академика Леонтьева, 6 Российской национальной конференции по теплообмену, где работа была признана одной из лучших отмечена дипломом. Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 6 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 2 работы, одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в государственном реестре. Работа имеет внедрение, что подтверждено актом.

В опубликованных работах достаточно полно отражены концепция и основные положения диссертационной работы.

Предварительная защита диссертации состоялась 20 ноября 2014 года на заседании кафедры общей физики КГУ им. К.Э. Циолковского. Имеется соответствующее заключение, где отмечено, что работа выполнена на профессиональном уровне и актуальна для энергетики, соответствует положению 2, 6 области исследований паспорта специальности 05.01.01 «кандидатским диссертациям и рекомендована к защите по специальности «Тепловые электрические станции ...». Заключение подписано заведующим кафедрой общей физики Серёжкиным Л.Н. и утверждено ректором КГУ им. К.Э. Циолковского Казаком М.А.

26 октября 2015 года диссертационная работа была рассмотрена на заседании ДС протокол № 4 и принята к защите. Представленные документы соответствуют установленным требованиям.

Тумановский А.Г.: Есть ли вопросы к Павлу Андреевичу? Нет вопросов. Спасибо, Павел Андреевич. Слово предоставляется Калинин Александр Юрьевичу.

Калинин А.Ю.: Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые оппоненты, уважаемые коллеги, разрешите представить Вам работу «Исследование работы воздушно-конденсационных установок паротурбинных ТЭС при неравномерном теплоотводе». В настоящее время при разработке новых технологий, в частности, в энергетике, всё большее внимание уделяется вопросам экологии. В этом плане интерес представляют воздушно-конденсационные установки (ВКУ) для тепловых электростанций. В отличие от традиционных конденсационных установок они имеют важное преимущество. Это - уменьшение выбросов в атмосферу (что обеспечивает благоприятный микроклимат в районе электростанции для населения). Кроме того, они обладают ещё одним важным преимуществом. Это - независимость от водных источников, что позволяет осуществлять строительство и эксплуатацию электростанций в местах с недостаточным количеством водных ресурсов. Такие как: районы крайнего севера и пустыни.

ВКУ из себя представляют следующее: отработавший пар из турбины поступает по паропроводу в ВКУ, в верхний коллектор «2», где распределяется внутри поверхности из труб с наружным оребрением. Она, в свою очередь, охлаждается воздухом, прокачиваемым вентилятором или естественной тягой. Пар, проходя по трубам, конденсируется и конденсат попадает в нижний коллектор «4», откуда – в конденсатосборник из которого откачивается конденсатным насосом.

Об актуальности и перспективности использования ВКУ свидетельствуют многочисленные сообщения об их строительстве в различных точках мира, в том числе, и в России. Здесь представлены некоторые действующие в РФ воздушные конденсаторы. Это – Московский мусоросжигательный завод, Камчатка (Верхне-Мутновская ГеоЭС) и компрессорная станция «Чаплыгин» Первомайского управления МосТрансГаз в Липецкой области.

С развитием современной техники, в частности, вычислительной техники, с развитием методов исследований, стало возможным численное решение многих задач, решение которых ранее можно было получить лишь экспериментально.

Однако при всей мощи современной техники даже подробное моделирование процессов теплообмена является сложной и порой практически невыполнимой задачей. Имеется большое число работ, посвящённых конденсации пара внутри труб и каналов. Как правило, рассматривается отдельная труба без учёта взаимовлияния параллельных каналов. Вместе с тем, исследования в области ВКУ выявили важные особенности, требующие более глубокого и детального анализа. В частности, наличие зон неэффективной работы. В связи с этим, целью работы является:

- теоретическое и экспериментальное изучение работы теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб при неравномерном теплосъёме;
- выявление на основе полученных данных зон неэффективной работы воздушных конденсаторов;
- создание компьютерной модели ВКУ, которая позволила бы оценить зоны неэффективной работы;
- экспериментальное подтверждение результатов численного моделирования на промышленной и лабораторной установках.

Несколько слов о том, как образуются и что собой представляют зоны неэффективной работы. Здесь на слайде схематично представлен рабочий участок ВК. Пар поступает в верхний коллектор с давлением P_1 и температурой насыщения t_s и распределяется по трубам. Расходы соответственно обозначены как G_1 , G_2 , G_3 , G_4 . Давление в нижнем коллекторе P_2 . Охлаждающий теплоноситель, т.е. воздух, имеет температуру на входе t_1 . Воздух, проходя через конденсатор последовательно, нагревается. Пренебрегая изменением температуры насыщения от перепада давления, можно заключить, что температурный напор, определяющий теплосъём с каждой из трубок, будет уменьшаться от первой трубки к последней. Следовательно, расходы и скорости пара в этих трубках, должны быть различные. Следовательно, перепады давления должны отличаться. Но перепад давления одинаков. В верхнем коллекторе P_1 , а в нижнем P_2 . Возникает противоречие. Это противоречие решается в случае наличия в паре неконденсирующихся газов тем, что пар конденсируется не на всей поверхности,

а лишь на её части. Возникает зона труб, занятая неконденсирующимися газами. Это зона, дойдя до которой пар практически полностью конденсируется, а далее по трубкам стекает конденсат. Это зона, где относительно низкое парциальное давление пара и, соответственно, температура насыщения, и высокая доля неконденсирующихся газов. В случае отрицательных температур воздуха, в этой зоне возможно замерзание конденсата, образование ледяных пробок и, как следствие, разрушение теплообменной поверхности.

В основу программы легла модель всем известная формула Нуссельта – формула «1». Но она была расширена рядом поправок. Это – поправки на переменность физических параметров конденсата, волнового течения. Это – поправки Зошуля, Лобунцова – формулы «2», «3». Введена поправка на влияние скорости пара, движущегося в вертикальной трубе – формула «4». Также введена поправка на влияние неконденсирующихся газов. В программе есть некоторые допущения. Они здесь так же представлены. Они следующие:

- давление пара на входе и на выходе одинаково для всех труб;
- плотность теплового потока на заданной высоте канала определяется местным коэффициентом теплопередачи и разностью температур между температурой насыщения и охлаждающим воздухом на этой высоте;
- зависимостью температуры насыщения, как я уже говорил, от потери давления по длине каналов пренебрегаем;
- во всех каналах происходит полная конденсация пара;
- конденсация в четвертой трубке заканчивается на длине, равной длине самой трубки;
- расчет теплообмена со стороны охлаждающего воздуха, т.е. поиск коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха решается отдельно, исходя из принципиально важного соображения, что не зависит от параметров конденсации пара внутри труб.

Здесь представлена блок-схема программы в сильно упрощенном виде. Как видно, на входе необходимо задание исходных данных. В качестве исходных данных для расчёта выступают: геометрические параметры конденсатора (длина,

внутренний и внешний диаметр трубок, коэффициент оребрения). Необходимо так же задать содержание неконденсирующихся газов, расход охлаждающего воздуха, температуру охлаждающего воздуха и расход пара на входе. Под масштабом здесь подразумевается следующее: трубы в программе считаются не целиком по всей длине, а разбиваются на отдельные участки «1», «2» и так далее, как и при любом компьютерном моделировании. После задания исходных данных и выдачи соответствующей команды приложению программа переходит собственно к расчёту труб. Она в первом приближении предполагает расходы, идущие в каждую их труб G_1 , G_2 , G_3 , G_4 , как показано на модели. Далее, эти расходы в ходе вычисления, корректируются. Программа переходит к расчёту первого участка. Если он рассчитан успешно, то переходит ко второму участку, и так, пока не будет завершён расчёт первой трубки. После первой трубки считается вторая, после второй – третья, после третьей – четвертая, пока не будет завершён расчет. На каждом этапе возможен возврат на один или несколько шагов назад и корректировка исходных расходов пара для каждой из труб.

Это – общий вид программы, результат её работы уже после завершения расчёта. Показаны исходные данные, которые мы задали. Есть кнопка «Дополнительные параметры», при нажатии на которую появляется окно, в котором мы можем задать все оставшиеся исходные данные, которые я озвучил ранее. Есть изображение рабочего участка, оно динамическое, изменяется в ходе расчёта и по завершении визуально показывает пользователю, какие получились зоны неэффективной работы. На выходе программа выдаёт множество значений, основными из которых являются: расходы пара в каждой из трубок и соответствующие длины конденсации. Кроме того, есть кнопка «Построить график температур», при нажатии на которую появляется окно, где дублируются исходные и полученные данные, есть кнопка для вывода на печать. Так же представлен график температур охлаждающего воздуха. Синим цветом показана температура на входе в рабочий участок, фиолетовым – график температур охлаждающего воздуха после прохождения первой трубки. Как видно, на некоторой высоте происходит падение температуры. Если мы будем двигаться по

потоку внутри трубки, то там давление и температура насыщения пара будут примерно постоянны. А где-то в области точки, которую мы условно принимаем за начало неэффективной работы, она начинает падать. Сначала слабо, а затем довольно быстро. Возникает зона, где относительно низкое парциальное давление пара, низкая температура насыщения, высокая доля неконденсирующихся газов и, соответственно, низкий коэффициент теплопередачи, что, в конечном итоге, сказывается и на температуре воздуха после прохождения первой трубки. Желтым показана температура воздуха после прохождения второй трубки. На участке, где происходила конденсация в первой трубке, вторая трубка уже охлаждается нагретым воздухом. Соответственно, мы имеем смещение температуры. Но дойдя до точки, где началась зона неэффективной работы первой трубки, во второй трубке ещё не весь пар сконденсировался. Осталось некоторое количество пара, но трубка здесь охлаждается более холодным воздухом. Получается некое подобие ступеньки. Затем возникает зона неэффективной работы и падение температуры. И так для всех четырёх графиков.

Это – расчётные графики. Они построены по результатам работы программы. Как видно, при увеличении расхода пара происходит увеличение температуры насыщения и, соответственно, давления в конденсаторе. Так же это происходит и при увеличении температуры охлаждающего воздуха. При увеличении расхода охлаждающего воздуха, напротив, температура насыщения падает. Соответственно, падает давление в конденсаторе. Если мы увеличиваем длину трубок, то так же происходит падение температуры насыщения и давления в конденсаторе. Зоны неэффективной работы при увеличении расхода пара уменьшаются. А если мы будем увеличивать длины трубок в программе, то получим увеличение зоны неэффективной работы. При увеличении расхода воздуха, следует уменьшение температуры насыщения и, соответственно, для конденсации нужна большая площадь. Площадь неэффективной работы немного снижается в случае, рассматриваемом программой.

Была изготовлена, налажена собственная экспериментальная установка для исследования зон пониженной эффективности. Она представлена на этом слайде.

Основными элементами её являются: парогенератор «1». Он генерирует пар с помощью шести тэнов, по два кВт мощности в каждом. Имеется возможность последовательного подключения и отключения отдельных тэнов. Имеется возможность измерять и изменять мощность на одном из тэнов. Образовавшийся пар поступает в верхний коллектор собственно рабочего участка. Здесь он распределяется по четырём трубкам, трубам, диаметром 14 на 2 мм, длиной 1,2 м. Вообще говоря, здесь семь трубок, но первые три из них по ходу охлаждающего воздуха заглушены. Что сделано для стабилизации воздушного потока со стороны воздуха, выравнивания коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха. Воздух прокачивается вентилятором. На схеме он обозначен под номером «3». Вот он на фотографии. Пар, проходя по трубам, конденсируется и конденсат стекает в мерные емкости «4». Они так же представлены на фотографии.

Была выполнена верификация программы. Здесь несколько зависимостей. «Эксперимент» – это зависимость, полученная по результатам эксперимента. Установка была описана только что. Это – график температур рабочего воздуха после прохождения рабочего участка. Так же представлен график температуры воздуха на входе в рабочий участок. «Расчёт» – это график, который получен с помощью программы. Программа была запущена на тех же параметрах, при которых работала установка. Как видно, на большей части графики близки. Расхождение составляет около $2\div 3$ °C при общем нагреве порядка 30°С. Так же получено довольно точное совпадение в нижней точке графика. В нижней части есть расслоение, которое объясняется трудностью учёта влияния неконденсирующихся газов. Именно на этом участке, в этой зоне, возможно замерзание конденсата, и этот момент программа отслеживает и выводит соответствующее предупреждение.

Кроме того, было проведено исследование на промышленной ВКУ на компрессорной станции «Чаплыгин» в Липецкой области. Здесь представлена тепловая схема. Газотурбинный агрегат ГПА-Ц-6,3. Его выхлопные газы имеют температуру 340-360°С. Они утилизируются в котле-утилизаторе и служат для выработки 11,2 т/ч водяного пара при параметрах 200°С и давлении 0,75-0,99

МПа. Пар поступает в турбину типа «Кубань-0,75» и служит для выработки 500 кВт электрической мощности. Отработавший пар поступает в воздушный конденсатор. Он имеет 8 модулей по 4 ряда труб в каждом, длина трубок – 5 метров, диаметр 38 на 3 мм. Коэффициент оребрения – 15, высота ребер 15 мм, шаг – 3 мм, толщина 0,4 мм. Теплообменная поверхность охлаждается воздухом, который прокачивается 4-мя 4-х лопастными вентиляторами, диаметром 2,5 метра. Исследования проводились мною в зимний период времени при отрицательных температурах. И были сделаны следующие фотографии. Как видно на этой фотографии, по первому ряду труб по ходу охлаждающего воздуха, в нижней части трубки заглушены. Это произошло вследствие того, что произошло замерзание конденсата в этой части, образовались ледяные пробки, произошло разрушение теплообменной поверхности. И обслуживающий персонал был вынужден заглушить эти трубки, чтобы избежать выхода пара в окружающую среду. Эта фотография ярко свидетельствует о справедливости физической и математической модели, наличии зон неэффективной работы.

Кроме того, было проведено исследование поля температур оребренной поверхности первого по ходу охлаждающего воздуха ряда труб с помощью оптического пирометра (это график) и с помощью тепловизора. Как видно, в нижней части, на высоте 1-1,5 метра имеется некоторое падение температуры. И мы видим более темную часть трубок на фотографии, полученной с помощью тепловизора. Что свидетельствует о наличии зон неэффективной работы и справедливости физической и математической модели, рассматриваемой в работе.

Таким образом:

- Дан анализ состояния проблемы теплообмена при конденсации пара внутри параллельных каналов в условиях неравномерного теплосъёма по ходу движения охлаждающего воздуха, в частности, в воздушно-конденсационных установках. Обоснована актуальность и практическая значимость исследований в этой области.

- Разработана и зарегистрирована собственная программа-модель воздушно-конденсационной установки. С её использованием выявлены зоны

недостаточной эффективности работы поверхностного теплообменника, составляющие от 15% до 25% в зависимости от режима работы.

- Разработана, изготовлена и налажена собственная экспериментальная установка для исследования процесса конденсации пара в параллельных каналах. На ней были проведены экспериментальные исследования, так же подтвердившие основные положения физической модели.

- Определено условие, при котором все трубы работают эффективно по всей длине. Для этого необходимо, чтобы на выходе из первого ряда труб ВКУ паросодержание было $x \geq 0$, а из второго, третьего и четвёртого – $x > 0$.

- Проведено сопоставление экспериментальных и расчётно-теоретических данных, подтвердившее наличие зон неэффективной работы и их зависимость от режимных параметров.

- Проведены исследования натурной ВКУ на компрессорной станции «Чаплыгин», подтвердившие основные положения физической и математической модели.

- Полученные экспериментальные данные и разработанная математическая модель и программа расчёта ВКУ могут быть использованы и уже используются в конструировании теплообменных аппаратов, основанных на конденсации пара в параллельных каналах, охлаждаемых воздухом.

Доклад окончен. Спасибо за внимание.

Председатель: Спасибо. Пожалуйста, вопросы.

Трухний А.Д.: Можно вопрос?

Председатель: Конечно.

Трухний А.Д.: «Икс» - это что? Сухость?

Калинин А.Ю.: «Икс» - это паросодержание.

Трухний А.Д.: Понял, спасибо.

Председатель: Да, пожалуйста.

Куменко А.И.: В обычных конденсаторах бывает проблема переохлаждения конденсата. Как с этой проблемой в этих конденсаторах?

Калинин А.Ю.: Здесь я представил подтверждение наличия этой проблемы. Произошел разрыв первого по ходу охлаждающего воздуха ряда труб. В случае отрицательных температур охлаждающего воздуха, в случае наличия зон неэффективной работы (а они появляются всегда, когда в конденсаторе происходит полная конденсация пара), по трубкам будет стекать конденсат. И возможно замерзание конденсата и разрушение теплообменной поверхности. Это - прямая угроза работы конденсатора. Что и произошло на ВКУ компрессорной станции.

Тумановский А.Г.: : Да, пожалуйста.

Богачев В.А.: У меня несколько вопросов. Скажите пожалуйста, в автореферате сказано: «Задача теплообмена со стороны охлаждающего воздуха решается отдельно и не зависит от параметров конденсации внутри труб». Естественно не зависит. Поскольку он является функцией Рейнольдса, Прандля. О какой задаче вы сейчас говорите? Вам что, не хватает формулы Жукаускаса? Где число Рейнольдса в степени 0,6, а Прандля в степени 0,36 для гладких труб при поперечном обтекании. Вам не достаточно этого?

Калинин А.Ю.: В плане поиска коэффициента теплоотдачи со стороны охлаждающего воздуха эта задача решается отдельно. В программе она задаётся изначально с исходными данными.

Богачев В.А.: Вы эту задачу решали. Она решается отдельно?

Калинин А.Ю.: Задаётся сразу с исходными данными.

Богачев В.А.: В таком случае Вы решаете сопряженную задачу, если это всё известно.

Второй вопрос. Читаю автореферат. Уравнение 3, 4, 5. Здесь сказано о переменности теплофизических свойств, волновое движение пленки и так далее. Скажите пожалуйста, каким-то образом к этим формулам вы имеете отношение? Вы их создавали?

Калинин А.Ю.: Вы имеете ввиду эти формулы? Эти поправки я не создавал, они взяты из литературы.

Богачев В.А.: Понятно. Хорошо. Третий вопрос. Смешной вопрос. Как в литературе обозначается динамический коэффициент вязкости? Какой буквой?

Калинин А.Ю.: «Мю». Вот она на слайде.

Богачев В.А.: В автореферате написано другое. Вы знаете, вообще-то эти коэффициенты, они называются «коэффициент динамической вязкости». Но не динамическая вязкость. Мне кажется, Вам всё же не нужно писать так, как говорят.

Калинин А.Ю.: Будем считать это опечаткой. Я согласен с замечанием.

Богачев В.А.: То есть, насколько я понимаю, тема работы была связана с тем, что вы решали задачу третьего рода. Правильно?

Калинин А.Ю.: Да.

Тумановский А.Г.: Ещё вопросы, пожалуйста.

Куличихин В.В.: Скажите пожалуйста, вот у Вас на стенде здесь три трубки заглушили. Для чего это было сделано?

Калинин А.Ю.: Это было сделано для выравнивания коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха. Как правило, после третьего ряда он практически не меняется. Есть соответствующая литература на эту тему. В частности, Мильмана Олега Ошеровича, где показано, что после третьего ряда коэффициент практически не меняется. Трёх труб достаточно.

Куличихин В.В.: Ещё у меня такой маленький вопрос. Я не вижу всего режима исследования температуры воздуха. Вы всё время исследуете температуры только положительные. 15 градусов и так далее. Но в своих выводах Вы пишете, что именно в этом районе возникают ледяные пробки, приводящие в конечно счете и так далее.

Калинин А.Ю.: Да. Замерзание возможно при отрицательных температурах охлаждающего воздуха. Кстати говоря, здесь представлена программа, Здесь будет видно, что температура, если всмотреться - «-1,6⁰С». И показан график температур охлаждающего воздуха при отрицательной температуре на входе.

Куличихин В.В.: А я ссылаюсь на рисунок 8, где Вы приводите сравнение после прохождения рабочего участка в эксперименте, в расчёте и вот почему-то так.

Калинин А.Ю.: Да, и после этого я говорю, что если температура воздуха отрицательна, то здесь возможно замерзание конденсата. Если температура воздуха положительна, больше нуля, то замерзание не произойдет.

Куличихин В.В.: Скажите пожалуйста. Еще в выводе пятом, написано, что определено условие, при котором все трубы работают эффективно по всей длине. А дальше: $x > 0$.

Калинин А.Ю.: Поясняю. На выходе из первой трубки паросодержание должно быть больше или равно нулю, а из второй, третьей и четвёртой – больше нуля.

Куличихин В.В.: Минус. Это минус или тире?

Калинин А.Ю.: Не минус. Тире, конечно

Куличихин В.В.: Тогда получается одно и то же?

Калинин А.Ю.: Я поясняю. На выходе из первой трубки паросодержание должно быть больше или равно нулю, а из второй, третьей и четвёртой – больше нуля.

Куличихин В.В.: Больше или равно нулю. У вас в двух местах так написано. Зачем так писать-то? Ну ладно. И последнее. Я вижу, что это компрессорная станция, что это не тепловая электрическая станция. Да? Или как? Вы пишете в одном месте "Промышленная установка", а в другом вы пишете «Энергокомплекс». А работа называется «Исследование работы... паротурбинных ТЭС». Нет здесь какого-то у Вас противоречия?

Калинин А.Ю.: Слайд, на котором показаны ВКУ РФ. Это – геотермальная электростанция. Камчатка. В том числе, и компрессорная станция «Чаплыгин», где есть и турбина «Кубань», которая служит для выработки электроэнергии. Тепловая схема показана на одном из последних слайдов.

Председатель: Ещё вопросы, пожалуйста.

Туркин А.В.: Такой вопрос. Вот вы выравниваете поток рядами. Хотя обычно во всех ВКУ всего четыре ряда. И выравнивать смысла нет.

Калинин А.Ю.: Ещё раз, пожалуйста, вопрос.

Туркин А.В.: У Вас в экспериментальной установке семь рядов. Три ряда выравнивают поток перед первым экспериментальным. Хотя на реальных установках есть просто четыре ряда. Семирядных ВКУ я не видел.

Калинин А.Ю.: Рабочие трубки здесь только четыре. И только в четырёх трубках происходит конденсация.

Туркин А.В.: В реальной работе перед ними ничего нет.

Калинин А.Ю.: Это сделано для стабилизации воздушного потока.

Председатель: Уточните вопрос, чтобы было понятно.

Туркин А.В.: Так вы исследуете бесконечный поток. Зачем выравнивать?

Калинин: Чтобы он не менялся от первой трубки к последней.

Туркин А.В.: Там всего четыре. Он меняется по определению.

Калинин А.Ю.: После третьей он уже практически не меняется. И далее, в трубках, в которых мы рассматриваем конденсацию, он не меняется практически.

Председатель: Он спрашивает, что будет после четвертого пучка?

Калинин А.Ю.: Пятой трубки у нас нет. После четвертого было бы то же самое.

Ольховский Г.Г.: Вы не понимаете друг друга. Он говорит, зачем выравнивать поток, если в натуре этого не происходит?

Калинин А.Ю.: Для чистоты эксперимента.

Председатель: Ещё вопросы пожалуйста.

Зарянкин А.Е.: Скажите пожалуйста. В Ваших четырех трубках разный расход от первой до четвертой. Физическая причина? Можете сказать, почему в первой трубке расход больше, а в четвертой меньше? В чем здесь физика?

Калинин А.Ю.: Расходы разные. Нужно повторить физическую модель. Температурный напор на первой трубке будет больше. Он определяет теплосъем для каждой из трубок и уменьшается от первой до четвертой. Вторую трубку охлаждает нагретый воздух. Теплосъем со второй уже меньше.

Председатель: Есть ещё вопросы?

Председатель: У меня один вопрос ещё. Александр Юрьевич, Вы всё время говорите применительно к тому, что это установки с зонами с неравномерным теплоотводом. А в принципе, можно ли создать установку, чтобы этих зон не было? И к этому может быть надо сначала стремиться? По конструкции, по конструктивному оформлению, чтобы не было этих проблем, о которых мы сейчас говорим.

Калинин А.Ю.: Да. Это программа позволяет на стадии моделирования воздушного конденсатора оценить, какие будут зоны его неэффективной работы. Её так же можно использовать и для совершенствования воздушного конденсатора, добиться того, чтобы этих зон не было вовсе.

Председатель: Но это другие задачи. Аэродинамические, конструктивные видимо.

Калинин А.Ю.: Мы, изменяя исходные данные, можем добиться того, чтобы этих зон неэффективных не было.

Председатель: Понятно. То есть, мы знаем, как отстроится, чтобы этих зон не было. Мы можем это сделать, чтобы свести их к минимуму.

Председатель: Спасибо. Ещё вопросы есть?

Куличихин В.В.: Экономическая какая-то оценка была?

Калинин А.Ю.: Да, данная работа может быть использована и уже используется при конструировании теплообменных аппаратов. Есть Акт соответствующего внедрения. Кстати, на натурной секции ВТИ. Это стенд ВКУ в Турбоконе и компрессорная станция «Чаплыгин».

Председатель: Это общий вопрос. Правильно. Мы все понимаем. Это проблема. Во-первых, воздушные конденсаторы, наверное, дороже. Это раз. Во-вторых, вы знаете, что когда переходите на воздушное охлаждение, особенно в градирне, вы теряете КПД установки. И надо понимать, чего это стоит. Это всё на весах. Это надо взвешивать.

Калинин А.Ю.: У ВКУ есть ряд преимуществ, которые я называл вначале. Мы должны исходить от того, что нам важнее на данном этапе.

Председатель: Да. Если нет воды, то у нас нет выбора.

Спасибо. Слово научному руководителю Олегу Ошеровичу Мильману.

Мильман О.О.: Коллеги, Александр Юрьевич закончил аспирантуру Калужского государственного университета. И в процессе работы проявил себя достаточно активным, грамотным. Он разработал методику работы на экспериментальной установке, он разработал и зарегистрировал в государственном реестре программу расчёта поверхностных воздушных конденсаторов. Программа эта необходима при конструировании теплообменных аппаратов, что мы, собственно говоря, и использовали, когда делали ВКУ для ВТИ. И также модернизировали ВКУ в Чаплыгине. Эта программа была полезной. По своим качествам он достаточно скрупулёзен, он внимательный экспериментатор. И обладает необходимыми навыками в научной работе, чтобы довести результаты до кондиции, которая может быть принята. И результаты могут учитываться при конструировании. Что и было им реализовано. По своему уровню интеллектуальному и, так сказать, общему, я считаю, он соответствует кандидатской степени, к которой мы его и представляем. В своё время, когда был студентом, аспирантом, он участвовал в различных мероприятиях, конференциях, где показывал хорошие результаты. Имеются награды как студенческие, так и за выступление его на конференции Леонтьева. Там получен диплом высокого уровня. Я считаю, что Александр Юрьевич заслуживает высокой оценки. Я в этом отношении подписал все соответствующие рекомендательные документы. И прошу совет поддержать это представление.

Председатель: Спасибо. Есть вопросы к научному руководителю?

Нет. Спасибо.

Заключение организации, где выполнена работа - кафедра общей физики Калужского государственного университета имени Циолковского. Его представители отсутствуют, поэтому слово предоставляется Павлу Андреевичу.

Березинец П.А.: Заключение Калужского государственного университета имени Циолковского. Оно небольшое, примерно 2 страницы, поэтому я подробно

его зачитаю... Зачитывается Заключение КГУ им. К.Э. Циолковского. (Прилагается).

Председатель: Спасибо. Теперь переходим к отзывам. Начинаем с отзыва ведущей организации. Поскольку институт им. Кутателадзе на совете отсутствует, то, пожалуйста, Павел Андреевич, Вам слово.

Березинец П.А.: Зачитывается Отзыв ведущей организации. (Прилагается).

Председатель: Спасибо. Пожалуйста, Александр Юрьевич, ответьте на замечания ведущей организации.

Калинин А.Ю.: Ответы на замечания.

Первое замечание. «Нет четкого указания как использовать разработки для совершенствования контурного многорядового воздушного конденсатора».

В работе представлена программа-модель, которая на стадии моделирования позволяет оценить эффективность воздушного конденсатора. Кроме того, её можно использовать для совершенствования ВКУ следующим образом: нужно, чтобы все трубы работали на полную эффективность. Тогда мы, условно, закладываем в расчет удлинение всех труб и делаем расчёт, чтобы получить зону неэффективной работы (её начало) за пределами реальной длины труб. Получаем не сконденсировавшийся избыточный пар, который нужно отправить в следующий модуль (II ход по пару).

Второе замечание. «Компьютерная программа рассчитана на 4-рядный конденсатор, можно ли ее применять к меньшим или большим числам рядов труб».

Хотя явно программа работает только с 4-х рядным пучком, её можно использовать для оценки конденсаторов с количеством рядов, отличным от 4-х. На выходе программа даёт отдельно расходы для каждой из трубок. G_1 , G_2 , G_3 , G_4 . Мы так же делаем расчёт, чтобы суммарно в первые 3 или 2 трубки поступало количество пара, равное нашему расходу для трёхтрубного конденсатора.

Третье замечание. «Эксперимент на модели выполнен на гладких трубах без обоснования идентичности с оребренными трубами».

Теплообмен с использованием гладких труб идентичен теплообмену с использованием оребренных труб в части образования зон неэффективной работы. Относительно низкие коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха (около $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) по сравнению с коэффициентом теплоотдачи со стороны пара ($10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) могут быть частично скомпенсированы развитием оребренной поверхности со стороны воздуха. В нашем случае в модели повышение теплоотдачи со стороны воздуха достигается ростом скорости его и уменьшенным диаметром труб. Программа обеспечивает расчет неэффективных зон с учетом размеров модели и теплоотдачи от воздуха. Важная характеристика для расчета конденсации пара – отношение ℓ/d ; в модели $\ell/d=120$; на промышленных – в районе 145-150.

И последнее замечание. «В промышленных испытаниях нет оценки точности измерения и сопоставления с экспериментом на модели».

Для оценки температурного поля поверхности теплообмена промышленной установки были использованы тепловизор и оптический пирометр. Тепловизор и оптический пирометр имеют погрешность около $2\text{-}3^\circ\text{C}$ при правильной настройке перед началом работы. Для оптического пирометра необходимо задание коэффициента отражения по специальной таблице. Для тепловизора несколько сложнее. Необходимо выставить диапазон температуры окружающего воздуха, диапазон дальности. По заверениям производителя тепловизора возможно увеличение точности измерения. Добиться около 1 градуса, если обработать полученный файл-изображение в специализированном программном обеспечении от производителя тепловизора (обычно идёт в комплекте). В данном случае, это тепловизор FLIR T335. Далее в программе можно более точно установить температуру воздуха, расстояние до объекта и добиться точности около 1 градуса.

Это все замечания.

Председатель: Спасибо. Вопросы у членов совета появились? Нет? Спасибо. Теперь по отзывам, которые мы получили на эту работу. Мы получили отзывы от 8 организаций. Мы с вами посоветуемся, стоит ли зачитывать все отзывы полностью. Все положительные. Имеется 21 замечание. Предлагаю диссертанту

зачитывать вопрос и отвечать, тогда будет понятно. Тем более, эти замечания у вас есть. Всё, спасибо, принимаем такой формат. Павел Андреевич, пожалуйста, огласите от кого и кто подписал отзывы.

Березинец П.А.: Всего отзывов 11. Но если не учитывать отзывы оппонентов и ведущей организации, то прислали отзывы на автореферат 8 организаций.

ООО «Геотерм-ЭМ». Отзыв подписан техническим директором ООО «Геотерм-ЭМ», к.т.н., доцентом Никольским А.И.

Отзыв Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Кафедра гидроаэродинамики. Подписали: ведущий научный сотрудник кафедры профессор, Федорович Е.Д., инженер кафедры канд. техн. наук, Егоров М.Ю.

ОАО «Силовые машины». Подписали: заместитель генерального директора - технический директор ОАО «Силовые машины», член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Петреня Ю.К., главный конструктор паровых турбин ОАО «Силовые машины», д.т.н., Лисянский А.С., начальник отдела теплообменного оборудования ОАО «Силовые машины» Новик Н.Н. Этот отзыв содержит наибольшее количество замечаний.

НИУ «МЭИ». Отзыв прислал доктор технических наук, профессор, Г.Г. Яньков.

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Калужский филиал). Подписали: заведующий кафедрой тепловых двигателей и теплофизики Калужского филиала доцент, к.т.н. А.А. Жинов.

ООО «Интер РАО-Инжиниринг». Подписал: к.т.н., Галас И.В.

ОАО «Всероссийский дважды Ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»). Подписал: зав. физико-техническим отделением к.т.н. Туркин А.В.

Ивановский государственный технический университет имени Ленина. Кафедра «Тепловые электрические станции». Подписали отзыв заместитель заведующего кафедрой Ледуховский и доцент кафедры Коротков.

Вот все организации, которые прислали отзывы. Организации очень авторитетные и серьезные.

Председатель: Спасибо. Александр Юрьевич, готовы отвечать в формате, как мы договорились? Пожалуйста.

Калинин А.Ю.: Кратко по отзывам, по замечаниям к ним.

Первым идёт отзыв Геотерм-ЭМ от Никольского.

«Результаты расчётных и экспериментальных исследований приведены в виде различных зависимостей от размерных величин, таких как расходы пара и воздуха, тепловая нагрузка и др. Было бы предпочтительнее представить их в безразмерном виде, или, по крайней мере, в виде удельных величин».

– Это замечание принимается. Хочу отметить, что зависимости от этих факторов, которые были приведены в исследовании, были выбраны не случайно, в частности от температуры насыщения, а потому как они более наглядно представляют нам зоны неэффективной работы. Если мы будем двигаться по трубке, то в потоке давление и температура насыщения будут практически постоянны. Это я уже говорил.

«Разработанная расчетная модель и проведенные экспериментальные исследования выполнены для 4-рядного пучка труб и из представленных материалов не ясно, как количество рядов труб влияет на показатели работы ВКУ».

– Разработанная расчетная модель и проведенные экспериментальные исследования выполнены для 4-рядного пучка, так как именно 4-рядный пучок является наиболее распространённым в настоящее время. Изменение числа рядов труб не приведёт к исчезновению зон неэффективной работы. Они будут отсутствовать в случае, когда на выходе из первого ряда труб ВКУ паросодержание $x \geq 0$, а из второго, третьего и четвёртого и т.д. – $x > 0$.

Замечание Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Первое. «Не рассмотрена связь зон неэффективной работы с надежностью в установках».

– В климатических условиях, характеризующихся наличием отрицательной температуры окружающего воздуха, наличие зон неэффективной работы является прямой угрозой работоспособности всего воздушного конденсатора. Стеkanie конденсата внутри труб, охлаждаемых воздухом при отрицательной температуре может привести к образованию ледяных пробок и разрыву трубок. Прочие моменты касательно надежности не входят в объём исследований.

Второе. «Предложенная автором программа-модель ВКУ в явном виде не определяет геометрические характеристики воздушного конденсатора, при которых эффективность конденсации была бы выше».

– Действительно, программа-модель ВКУ в явном виде не определяет геометрические характеристики воздушного конденсатора, при которых эффективность конденсации была бы выше. На подобный вопрос я уже отвечал, когда говорил об увеличении длин трубок и направлении избыточного пара во второй по ходу пара модуль.

Третье. «Практическая ценность работы была бы выше, если бы она содержала рекомендации конструктивного характера, направленные на выравнивание теплосъёма по рядам труб (организация оптимальной аэродинамики потоков воздуха, профилирования расходов пара путём дросселирования труб и т.п.)».

– Замечание принимается. Да, ценность была бы выше.

Четвертое. «В автореферате не указана точность используемых приборов и величина погрешности результатов, полученных в экспериментальной части исследования».

– На этот вопрос я отвечал, говоря о погрешности тепловизора и пирометра. Касательно экспериментальной установки: в диссертации есть специальный подраздел точности измерений.

ОАО «Силовые машины».

Первое замечание. «Автор утверждает, что причина расслоения расчётных и опытных данных в нижней части графика рисунка 18 обусловлена трудностями учёта влияния неконденсирующихся газов на теплообмен при конденсации в

трубе. Вместе с тем в автореферате отсутствует какая-либо информация об учёте и способах подачи этих газов в экспериментальную установку, удаления их из нее, а также использование полученных опытных данных для уточнения математической модели».

– Замечание принимается. Поправок для определения влияния неконденсирующихся газов много. Я выбрал одну из них, они все не очень достоверны. В принципе этот момент учтён и в сравнительных расчётах. По моему мнению, этого достаточно. В экспериментальной установке отсутствуют какие-либо дополнительные способы подачи или откачки неконденсирующихся газов.

Второе замечание. «Из автореферата не ясно, почему в экспериментальной установке вместо широко распространенных в ВКУ оребренных труб применены трубы без оребрения».

– На этот вопрос я уже отвечал

Третье замечание. «Построение аппроксимирующих линий по двум или трем экспериментальным точкам представляется не вполне корректным».

– Замечание принимается. Имеется большое число данных и построенных по ним зависимостей (в том числе с большим количеством точек), показывающих верность выбранного вида аппроксимирующих функций.

Четвертое замечание. Величину ϵ , на наш взгляд следовало бы формировать как относительную, либо по объему, либо по массе. Страница 6.

– На странице 6 представлены ϵ_t и ϵ_v . Они соответствуют поправкам по Лабунцову и Зозуле – это поправки для учёта влияния переменности физических параметров конденсата и волнового течения. Именно о них говорится на 6 странице.

Пятое замечание. «К сожалению, в автореферате допускаются неточности в формулировках, обозначениях и опечатки». Далее здесь приводится их список. Думаю, не стоит их все называть. Часть из них уже были озвучены после моего доклада и я с ними согласен.

НИУ «МЭИ», Яньков.

Первое. «Из автореферата не ясно, как рассчитывались расходы парогазовой смеси в параллельных трубках, находящихся в различных условиях охлаждения вследствие прогрева воздуха».

– В идеологии программы заведомо заложено равенство перепадов давлений для каждой из трубок, равенство гидравлических сопротивлений по всем участкам, где происходит конденсация пара, а также условие, по которому конденсация в четвертой трубке заканчивается на длине, равной длине самой трубки. Программа по предполагаемым расходам пара получает соответствующие длины конденсации и далее проверяет это решение на истинность. Это процесс происходит многократно с соответствующей коррекцией расходов пара и, соответственно, длин конденсации. Так построен алгоритм работы программы, если говорить кратко.

И второе замечание. «В автореферате полезно было бы привести результаты данных расчётов и экспериментов».

– Результат сравнения данных расчёта и эксперимента (на экспериментальной установке) представлен рисунком 18 автореферата и комментариями к нему. Исследования натурной ВКУ носит качественный характер, подтверждающий наличие зон неэффективной работы и корректной физической модели. Об этом я рассказывал во время доклада.

Замечание от КФ МГТУ им. Баумана от Жинова Андрея Алексеевича.

«Отсутствие сравнения эффективности предложенной модели и программы расчёта воздушного конденсатора с существующими программно-математическими комплексами».

– Была разработана собственная программа моделирования процесса конденсации пара в аппаратах воздушного охлаждения. Её разработка строилась на принципах, используемых уже в распространённых программах: выбор модели и частоты разбиения участков. Кроме того, она имеет достаточно информативный интерфейс, позволяет работать на ней (в отличие от ANSYS, ANES, FlowVision) человеку, не имеющему специальных знаний в области компьютерного моделирования или программирования. Отличительной чертой её является низкая

ресурсозависимость, позволяющая производить вычисления на обычных маломощных офисных ПК. Дополнительное отличие – цена программного обеспечения. Вышеназванные программы стоят относительно дорого.

Следующее замечание от Интер РАО-Инжиниринг. От к.т.н. Галаса.

Первое. «Небольшое расслоение экспериментальных и расчётных данных, полученное по результатам их сравнения на определенной стадии эксперимента. Причина расслоения указана в работе и заключается в трудности учета влияния неконденсирующихся газов на теплообмен при конденсации в трубе. Однако, с другой стороны, это указывает на то, что предложенная модель может и должна быть подвергнута дальнейшему улучшению с целью сближения экспериментальных и расчетных данных».

– Согласен. Уже ведутся работы по совершенствованию представленной программы-модели ВКУ. Следует отметить, что в идеологии программы заложено разбиение труб по длине на отдельные участки, по которым вычисление производится индивидуально. Пользователь программы имеет возможность изменять частоту разбиения. Увеличение частоты ведёт к увеличению точности расчёта по заложенным внутри программы алгоритмам и модели.

Второе замечание. «Практическое применение работы видится достаточно узконаправленным. С точки зрения практической эксплуатации оборудования хотелось бы, чтобы в работе были затронуты основные проблемные моменты, связанные с эксплуатацией подобного рода теплообменных аппаратов. В проблему сброса высокопотенциального пара при аварийном останове основного оборудования в зимний период времени, когда часть поверхности ВКУ находится в отключенном состоянии».

– Согласен с важностью замечания, учту в дальнейшем, т.к. это выходит за рамки задачи, поставленной в диссертации.

«ВТИ», Туркин.

Первое. «Не приведено решение задачи расчёта коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха».

– На этот вопрос я давал ответ.

И последнее. «Представить более подробное описание механизма учета гидравлических сопротивлений пара».

– Об этом я так же говорил, рассказывая об алгоритме работы программы.

Ещё осталось одно замечание. Это от Ивановского университета имени Ленина.

В формулировке пунктов научной новизны отсутствуют отличительные признаки.

– Научная новизна в исследовании заключается в следующем (она есть в автореферате, стр.1): была разработана и зарегистрирована собственная программа-модель воздушного конденсатора, с помощью которого было выполнено численное моделирование. Получены экспериментальные данные и их зависимость от режимных параметров, выполнена верификация программы.

Второе замечание. Погрешности в эксперименте.

– Это замечание уже было.

Не понятна формулировка вывода № 5.

– На это замечание я так же отвечал во время доклада, говоря о паросодержании на выходе из труб для эффективной работы конденсатора.

Замечаний больше нет.

Председатель: Спасибо. Появились ли вопросы у членов Совета? Нет. Пожалуйста, переходим к выступлению официальных оппонентов. Зарянкин Аркадий Ефимович.

Зарянкин А.Е.: Уважаемые коллеги, когда я присутствую на защитах кандидатских и докторских диссертаций, меня поражает одно. При всем пренебрежении к научной деятельности со стороны государства, находятся те, которые продолжают эту бессмысленную работу с точки зрения тех людей, от которых зависит развитие науки. Когда я говорю о том, что мы уже никогда никого не догоним, но перегнать всегда можем, то именно последнее слово обращено именно к тем молодым людям, которые независимо от обстановки продолжают научную деятельность и представляют к защите вполне полноценные работы, которые являются тем заделом, который все-таки когда-то

будет хорошо использоваться. Вот эта работа как раз и относится к разряду таких. С точки зрения актуальности работ, о них всегда следует говорить с точки зрения конкретных задач. Конечно, до сих пор воздушные конденсаторы – это не самое лучшее решение для цикла Ренкина. Но есть ситуации, когда другого решения просто нет. И особенно, когда у нас идут такие заказы, как строительство станций в африканских странах. В странах, где климат очень горячий, а воды нет, там волей или не волей приходится использовать воздушные конденсаторы. С этой точки зрения актуальность работы совершенно очевидна. Очевидна как с точки зрения экологии, так и с точки зрения задач, которые без воздушного конденсатора решить нельзя. Суть диссертации была доложена достаточно хорошо. Я не хочу останавливаться подробно на содержании. Я замечу только по главам некоторые мои впечатления. Если касаться обзора литературы то, с одной стороны охвачено довольно много работ, но, с другой стороны, здесь можно было на половину сократить. Потому что работа посвящена течению внутри труб, а в половине обзора рассматривается конденсация на внешней поверхности труб. Это разные варианты. Можно было сократить первую часть и расширить вторую часть конденсации пара внутри труб. Что касается второй главы, связанной с созданием программы, то адаптированная программа для таких расчетов представляется вполне обоснованной. Потому что расчеты, которые ведутся сейчас по программам (прямо скажу, что я не в восторге от расчетов, которые ведутся по газодинамике), мы имеем замкнутые системы уравнений, где такие расчёты должны давать хорошие совпадения с опытом. Сделать адаптированную программу, которой может пользоваться простой инженер, это уже само по себе большое достижение, и здесь у меня особых возражений нет.

Когда вы получаете результаты таких расчетов, то мне бы хотелось, чтобы физическая сторона была бы затронута более полно, чем было сделано в этой работе. Я недаром задал вопрос о том, почему происходит перераспределение расходов пара в трубах при вроде бы совершенно нормальных начальных и конечных условиях. У вас перед трубами давление постоянно и за ними постоянно, а расход через каждую трубу разный. Этот вопрос очень интересный,

но он имеет очень непростой ответ, который состоит в том, что это означает, что процесс конденсации в первых и последних трубках проходит по-разному. И проходит по-разному по одной простой причине. Первая трубка попадает сразу после поворота, поэтому она находится в других условиях, чем последняя трубка по ходу пара. В среднем, на входе давление постоянно, а перед каждой трубкой оно может быть другим. Есть ещё одно обстоятельство: когда по трубке движется пар, который конденсируется. Это, по сути, движение с отводом массы. И, соответственно, у вас вдоль трубки должно нарастать давление, а не падать. Этот вопрос, к сожалению, остался за кадром в этой работе. В представленной установке есть трубки, где по длине заложены термопары. Почему автор не использовал эти термопары для того, чтобы показать, как меняется давление и температура насыщения по длине трубки? Здесь, возможно, можно было бы уловить диффузионный эффект конденсации, которая здесь происходит. И тогда, возможно, многие вопросы автоматически отпали бы из тех, которые были заданы.

Я хочу обратить внимание на автореферат. Получить 21 замечание – это очень хорошо. Это значит, что люди всё-таки прочитали автореферат, и у них возникли эти вопросы. Сам по себе этот момент подтверждает актуальность самой работы, которую мы сегодня слушаем.

Естественно, что в любой работе всегда можно найти слабые места. Есть очень неудачные выражения. Одно из них я не удержусь и зачитаю: «уменьшение температуры воздуха при постоянном расходе пара влечет за собой уменьшение температуры насыщения, что объясняется равенством теплового баланса». Вот эту фразу я как раз и не понял. Если это балансовое уравнение, что это за равенство? Зачем тогда подчеркивать это равенство? И уж если так говорить, то надо было расшифровать физическую сторону. Баланс, он всегда и есть баланс. С точки зрения представления. Этот график сейчас виден. Сразу возникает вопрос. Почему в одном случае кривая идёт гладко, а во втором ступенчато? Если я соединю четыре точки, то они лежат на прямой. Зачем надо было делать её

ступенчатой? Тогда сделайте и верхнюю ступенчатой. Нужно делать то, что получается.

С точки зрения сопоставления можно сделать ряд замечаний. По расчетам по программе, которые были рассчитаны для четырех трубок, и опытным данным, полученным на действующем конденсаторе. В принципе, добиваться здесь количественного совпадения я бы и не стал. В данном случае важен сам качественный факт того, что и в том, и в другом случае получены зоны плохой работы конденсатора на некоторых режимах. Это ситуация как раз и подтверждает то, что приведенная программа правильно улавливает такие места в работе воздушного конденсатора, на которые следует обратить непосредственное внимание.

Я не хочу задерживать Ваше внимание, поэтому сразу перейду к тем замечаниям, которые мне хотелось бы сделать по той работе.

Во первых, что касается воздушного конденсатора, то центральным показателем является давление насыщения пара, однозначно определяющее температуру насыщения. Соответственно, все приведенные в диссертации расчетные результаты следовало предоставить не в виде зависимостей исследуемых факторов от температур насыщения, а в виде зависимостей от давлений насыщения, что более результативно для тех, кто занимается паровыми турбинами. Прежде всего интересен факт, какой вакуум вы будете держать за последней ступенью. И в этом отношении один из недостатков, который я вижу, это отсутствие гидравлического сопротивления на этом конденсаторе по сравнению с гидравлическим сопротивлением водяных конденсаторов. А если вы посмотрите на те температуры, которые здесь указаны, то эти температуры довольно высокие они близки к 100 градусам. Это означает что у вас атмосфера на входе в конденсатор. И дальше она там меняется до 50 градусов. Это означает, что в данном случае, мы имеем конденсатор довольно сомнительного свойства с точки зрения цикла Ренкина. Несколько слов об этом следовало бы сказать.

В этой же связи, необходимо было остановиться на вопросе переохлаждения конденсатора. Если конденсатор имеет существенное гидравлическое

сопротивление, то вы получаете не один или два, а около пяти – десяти градусов переохлаждения конденсата. В целом, этот вопрос остался за кадром. Его бы следовало рассмотреть.

Ещё одно замечание. Все материалы приведены в размерном виде. На многих зависимостях, приведенных в диссертации, в качестве аргумента используется массовый расход пара, что сужает рамки проведенных исследований и затрудняет анализ полученных данных, т.к. массовый расход не является параметром, определяющим теплопередачу с точки зрения параметра. Эту часть следовало представить в безразмерном виде. Тогда отпали бы и вопросы о возможности переноса и расчетных данных на натуру и так далее.

Я должен согласиться с тем замечанием и вопросом, который здесь уже прозвучал. Иметь четыре трубки и поставить три перед теми, которые здесь исследуются, это значит внести трубки в зону совершенно стабильного течения.

И последнее замечание. Оно касается этой зоны. Оценивая влияние тепловой нагрузки конденсатора на размеры зоны пониженной эффективности, которая оценивается автором весьма условно, следовало указать, какова вероятность возникновения таких зон (по реальным нагрузкам) в натурных воздушных конденсаторах. Следовало сопоставить те нагрузки, которые есть на самом деле, с нагрузками, где есть зона неэффективной работы воздушных конденсаторов.

Хочу ещё раз подчеркнуть, что все мои замечания в известной степени являются рекомендательными. Оценивая работу в целом, я считаю, что к защите представлена интересная законченная работа, которая отражена во многих публикациях. И с точки зрения ВАК она удовлетворяет всем этим требованиям. Ученый совет имеет полное право проголосовать за присуждение автору ученой степени кандидата технических наук. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Ответы на замечания.

Калинин А.Ю.: Первое замечание. «Для любого конденсатора турбомашины центральным показателем является давление насыщения пара, однозначно определяющее температуру насыщения. Соответственно, все приведенные в диссертации расчетные результаты следовало предоставить не в виде

зависимостей исследуемых факторов от температур насыщения, а в виде зависимостей от давлений насыщения».

– Замечание Аркадия Ефимовича принимается в том плане, что в реальной эксплуатации оперируют давлением, а не температурой насыщения. Зависимости исследуемых факторов от температур насыщения использованы потому, что более наглядно представляют границы зон неэффективной работы. Это относится и к третьему замечанию: «На многих зависимостях, приведенных в диссертации, в качестве аргумента используется массовый расход пара, что сужает рамки проведенных исследований и затрудняет анализ полученных данных, т.к. массовый расход не является параметром, определяющим теплопередачу». Зависимости, в которых в качестве аргумента используется массовый расход пара использованы для проверки истинности физической модели и определения разности в количестве пара, поступающего и конденсирующегося в различных трубках.

Второе замечание. «Важным показателем конденсаторов является величина переохлаждения конденсата. При переносе конденсации пара из межтрубного пространства внутрь труб существенно увеличивается гидравлическое сопротивление по паровой части и, соответственно, растет переохлаждение пара. К сожалению, этот вопрос в диссертации не рассматривается, хотя для воздушных конденсаторов эта проблема достаточно актуальна».

– Экспериментально установлено в опытах Турбокона, что потери давления малы: при $P_k=10\div15$ кПа $\Delta p=200\div300$ Па, т.е. переохлаждение конденсата за счет потерь меньше 1°C . Из-за уменьшения парциального давления переохлаждение может быть очень существенное, но оно возникает в зонах неэффективной работы. В опытах на натурной секции (в ВТИ) переохлаждение было не более $2\div3^\circ\text{C}$ благодаря отсутствию таких зон. Поэтому, на этих участках переохлаждение не рассматривается. Переохлаждение подробно рассмотрено в зонах неэффективной работы. Был показан слайд с разрушенными трубками, что является ярким свидетельством переохлаждения конденсата.

Последнее замечание. «Оценивая влияние тепловой нагрузки конденсатора на размеры зоны пониженной эффективности, которая оцениваются автором весьма условно, следовало указать, какова вероятность возникновения таких зон (по реальным нагрузкам) в натурных воздушных конденсаторах».

– Из графиков видно, что тепловая нагрузка оказывает существенное влияние на характер распределения температур охлаждающего воздуха на выходе из теплообменника. Перегиб графика, соответствующий малым тепловым нагрузкам, характеризует высоту, на которой резко уменьшается коэффициент теплопередачи (соответствует изменению толщины пленки конденсата внутри теплообменных труб). С ростом тепловой нагрузки перегиб становится более плавным, а зависимость стремится к линейной, что говорит о малом изменении коэффициента теплопередачи по длине трубы. В работе показано, что зоны неэффективной работы возникают всегда при условии полной конденсации пара в конденсаторе.

Это все замечания.

Председатель: Спасибо. Аркадий Ефимович? Нет вопросов? Спасибо. Пожалуйста, второй оппонент. Аронсон Константин Эрленович.

Аронсон К.Э: Добрый вечер, уважаемые председатель, члены диссертационного совета. Я хочу выразить благодарность, что вы дали мне возможность выступить. Я не буду зачитывать полностью отзыв, а расскажу свои впечатления о работе.

Первое. Актуальность. Где-то в конце 80-х годов к нам обратились представители уральского турбинного завода с просьбой подготовить проектно-сметную документацию для конденсатора с воздушным охлаждением для мини ТЭС, которая потом базировалась бы в вагончике на железнодорожной платформе и использовалась в леспромхозах. Мы сделали такую работу, но завод перешёл на дизель-электрические электростанции, и наши разработки не пошли. Следующий всплеск возник 5-6 лет назад. К нам стали обращаться представители Газпрома. Это было связано с тем, что было установлено большое количество газотурбинных ТЭС с использованием компрессорных авиадвигателей. Коллеги стали задумываться о том, чтобы повысить КПД использования топлива, и

предложили нам рассмотреть вопрос об использовании пароводяного цикла в КС. Для условий Урала или Сибири здесь возможно использование только воздушных конденсаторов.

Что касается научной части. Мне очень понравилась сама идея, которая положена в основу данной работы. Она фактически заключается в том, что рассматривается некое распределение потоков теплоносителя, который определяется не столько различным гидравлическим или термическим сопротивлением, сколько различными условиями теплообмена. Надо сказать, что эти задачи мы можем видеть при исследовании гидравлических разверок котлов. Или тех же самых классических конденсаторов с водяным охлаждением, когда первый и второй ход по воде загрязнены, или часть поверхности конденсатора другого исполнения. Такие задачи нам приходилось решать. Данная задача в постановке применительно к воздушным конденсаторам мне встретилась впервые. Я считаю, что здесь есть несомненно научная новизна. Она состоит в тех закономерностях которые автор получил при рассмотрении процессов. К сильной стороне работы я бы отнес то, что в современных условиях экспериментальные работы встретишь не так часто. А здесь вообще классическая постановка. Сначала физические процессы исследуются на некой модельной экспериментальной установке, выделяются зоны и рассматривается их появление. А потом, с помощью расчета, перенесено на практическую область. Александр Юрьевич, как я понимаю, таким путем и шел.

Теперь я должен покритиковать работу. Она связана, в основном, с представлением материала. Я постараюсь Аркадия Ефимовича не повторять, но у меня здесь тоже есть определенные претензии. Первое – литературный обзор. Безусловно, многое посвящено коэффициенту теплоотдачи со стороны пара. А потом во всей работе нет ни одного коэффициента теплоотдачи. Правильно было замечено, что данные представлены в натуральном виде. Конечно, надо было хотя бы в относительных. Это есть в замечаниях к автореферату.

Дальше, нет ссылок на работы оппонентов. Ни на работы Аркадия Ефимовича, ни на наши. Можно было бы сослаться, тем более, есть на что сослаться.

По второй части. Там, где описана программа для расчета конденсатора, всё нормально. Но то, что вызывает у меня интерес как у специалиста, который занимается теплообменным оборудованием. Алгоритм. Каким образом распределяется теплоноситель по различным трубкам. Этого алгоритма нет. В начале условий не много. Начальные условия – это равенство давлений на входе. Второе условие – это полная конденсация, конденсация пара на всей поверхности последней трубки. А трубок – четыре. Каким образом распределяется для остальных – для меня осталось не ясно.

Третья глава – экспериментальная установка. Всё хорошо описано, погрешности измерения представлены, но, к сожалению, нет схемы измерений. И один из вопросов, которые у меня есть. Он касается схемы измерений. Очень тяжело воспринимать результаты, когда непонятно, что и каким образом измеряется.

Четвертая глава – результаты. Несколько десятков графиков. Надо было бы попробовать это всё обобщить. Может быть количество графиков уменьшилось бы.

В пятой главе результаты – результаты измерений на опытной промышленной установке. Но почему-то в пятой главе приведен один график сравнения результатов расчета по программе и результатов лабораторных исследований. Почему это не отнести в четвертую главу? Где анализ лабораторных испытаний. Почему сделан только один график, нет постоянного сравнения. Мне кажется, что это недоработка в части представления результатов.

Теперь я зачитаю, чтобы не терять времени свои замечания.

Первое. Требуется разъяснения алгоритм распределения пара по трубам пучка ВКУ при температурной разверке с воздушной стороны.

Второе. Почему в методике расчета конденсатора принималась величина коэффициента теплоотдачи с воздушной стороны постоянной? Конечно

коэффициент теплоотдачи $50 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ – это реальный коэффициент теплоотдачи. Но ведь можно заложить формулу Жукаускаса или любую классическую зависимость, и можно было бы для каждого ряда труб получать свой коэффициент теплоотдачи. Тут нет никаких проблем.

Третье. Почему на рис. 4.2 диссертации (рис. 10 автореферата) изменение температуры воздуха по длине трубы «становится более плавным» (формулировка со стр. 78) при увеличении тепловой нагрузки? Немного не научная формулировка.

Четвертое. На рис. 4.6 диссертации вместо температур воздуха приведены, по-видимому, температуры стенки труб, так как данные температуры измерены на основании показаний термопар. Это то, что касается отсутствия схемы измерений.

И пятое замечание. На стр. 74 и 96 диссертации приведено заключение о влиянии неконденсирующихся газов в паре на «расслоение в нижней части труб». О чем идет здесь речь? Как получено данное заключение, если количество неконденсирующихся газов в паре не определялось? А вообще, были ли они в экспериментальной установке? Может быть там был чистый пар?

Тут важный вопрос также – переохлаждение конденсата. Например, в наших конденсаторах, в пластинчатых конденсаторах, мы встречались с проблемой. Особенно, когда не установлены конденсатосборники, там переохлаждение значительное. Что приводит ко всем проблемам, которые идут дальше по тракту.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости работы. Я хотел бы сказать следующее. Рассматривая все эти десятки графиков, я пытался представить, насколько они соответствуют физическим представлениям. И все выводы и заключения, которые автор приводит. Я хочу сказать, что они соответствуют физическим представлениям. Действительно так, как автор объясняет, процессы и происходят. Я вообще считаю, что выводы по работе и заключения следует признать правильными, можно принять к использованию. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Заключение. Диссертационная работа Калинина Александра Юрьевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится научно-обоснованное решение

задачи о распределении конденсирующегося пара в ряду труб воздушного конденсатора при различной температуре охлаждающего воздуха в трубном пучке. Результаты работы имеют также существенное значение для разработки и создания энергетических конденсационных установок воздушного типа паротурбинных ТЭС.

Я хочу ещё отметить, эта работа важна и для организаций, которые занимаются наладкой такого рода оборудования. В принципе, для составления карт эксплуатационного контроля или режимных карт. Потому что с помощью этих данных могут быть исключены те режимы, которые связаны с разгерметизацией трубок. Работа соответствует требованиям п. 9. А её автор присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Председатель: Спасибо. Александр Юрьевич, пожалуйста, ответьте на замечания.

Калинин А.Ю. Я хочу поблагодарить Константина Эрленовича за интерес к моей работе. По большей части ответы на замечания уже были даны.

Первое замечание. «Алгоритм распределения пара по трубам пучка ВКУ при температурной разверке с воздушной стороны».

– Этот вопрос уже поднимался. В частности в замечании от МЭИ. Не будем останавливаться на нём.

Второй вопрос замечания. «Почему в методике расчета конденсатора принималась величина коэффициента теплоотдачи с воздушной стороны постоянной?».

– Этот момент так же несколько раз затрагивался при ответах.

Третье замечание. «Изменение температуры воздуха по длине трубы «становится более плавным с ростом тепловой нагрузки».

– Это замечание подобно замечанию Зарянкина Аркадия Ефимовича (четвертое замечание – влияние тепловой нагрузки).

Четвертое. «На рис. 4.6 диссертации вместо температур воздуха приведены, по-видимому, температуры стенки труб, так как данные температуры измерены на основании показаний термопар. Это то, что касается отсутствия схемы измерений».

– Касательно этого замечания отвечу следующим образом. При построении рисунка 4.6 использовались датчики, измеряющие температуру охлаждающего воздуха на выходе из рабочего участка. Они были установлены по высоте в бобышках под приварку. В них устанавливались как термометры лабораторные, так и термопары. Именно они использовались при построении графиков и рисунка 4.

Следующее замечание: «На стр. 74 и 96 диссертации приведено заключение о влиянии неконденсирующихся газов в паре на «расслоение в нижней части труб. О чем идет здесь речь? Как получено данное заключение, если количество неконденсирующихся газов в паре не определялось».

– Под расслоением понимается расхождение соответствующих графиков. Для рисунка 4.1 – это расхождение графиков нагрева воздуха в теплообменнике в нижней части труб. Это расслоение объясняется влиянием неконденсирующихся газов в паре. Подробно это явление рассмотрено в разделе 1.6 диссертации при описании физической модели процесса конденсации в воздушном конденсаторе. Там показано, что в идеальном случае для пара без примесей неконденсирующихся газов нижнюю часть первых труб должен заполнить пар, поступивший из последующих по ходу охлаждающей среды труб (рисунок 1.4. а). При наличии неконденсирующихся газов, что характерно для вакуумных конденсаторов, эти газы накапливаются в нижней части первых труб, существенно снижая эффективность конденсации. Следствием будет менее эффективное использование поверхности теплообменника и заметное переохлаждение конденсата на выходе из первых труб (рисунок 1.4. б).

Это все ответы на замечания.

Председатель: Спасибо. Константин Эрленович, есть у Вас какие-то добавления?

Аронсон К. Э.: Нет. Правда, я немного не согласен с неконденсирующимися газами, но это уже можно отнести к дискуссии.

Председатель: Пусть он запомнит эти замечания для следующей работы. Уважаемые коллеги, переходим к дискуссии. Пожалуйста, кто хотел бы выступить?

Агабабов В. С.: Во-первых, я должен сказать, что я давно не получал огромного удовольствия от выступлений оппонентов. Спасибо большое.

Было бы большой дерзостью с моей стороны что-то добавлять. Но на что я бы хотел обратить Ваше внимание. На то, как Александр Юрьевич докладывал. На то, как он принимал участие в дискуссии. Мне это тоже очень понравилось. Я считаю, что в его плюсы можно занести, на мой взгляд, надо признать интеллигентный стиль ведения научных дискуссий, который был. Оценивая эту великолепную работу, если говорить об этой работе, как о квалификационной работе, то, конечно же, Александр Юрьевич показал свою высокую квалификацию. И всё, что сегодня произошло, является доказательством, что перед нами сегодня докладывал вполне сложившийся научный работник. Я хочу пожелать Александру Юрьевичу дальнейших успехов и просто просить, чтобы он не бросал начатое дело. Как учил меня мой учитель: «Кандидатская диссертация должна давать больше вопросов, чем ответов». И именно это сегодня и произошло. То, что было сегодня, говорит о том, что, Александр Юрьевич, надо продолжать. Спасибо. Я, конечно, буду голосовать «за». И призываю членов диссертационного совета к тому же. Спасибо.

Председатель: Пожалуйста, кто хотел ещё высказаться? Да, пожалуйста. Владимир Алексеевич Богачев.

Богачев В.А.: Спасибо. Собственно, какая задача была решена? Сопряженная задача. Решалась естественно она письменно. Иначе эту задачу решить нельзя. Это не просто сопряженная задача. Это сопряженная задача с переменными свойствами. Причем, решалась она как со стороны воздуха, так и со стороны конденсирующегося пара. Какое допущение главное сделал будущий кандидат наук? Он сказал, что перепад давления – естественно константа. И был абсолютно

прав. Эта проблема стара как мир. В условиях коллекторной системы раздачи и сбора всегда разность давления принимается постоянной. В условиях конденсации это – замедление течения, которым можно пренебречь, а в условиях нагревания – это ускорение, которым при достаточно низких тепловых потоках также можно пренебречь. Поэтому он со своей моделью был абсолютно прав. Ему сделали замечание о том, что желательно было бы результаты численного расчета представить в критериальной форме. Не получится! Это невозможно сделать! Поэтому задача называется «сопряженная с переменными свойствами». Её можно решать только численно. Соискатель был абсолютно прав.

Что мне в этой работе не понравилось. Ведь вопрос был достаточно простой: «Почему в первой трубе расход пара оказался больше, чем во всех остальных?». Ведь это же был простой вопрос. Тепловой поток у вас выше. В условиях коллекторной системы раздачи при нагревании расход в каких-то трубах становится меньше. Поэтому их и называют раздельными. А в условиях охлаждения, это обратная задача. А то, что в первой трубе расход оказался больше, здесь причина в том, что выше тепловой поток, который определялся коэффициентом теплопередачи и разностью температур. Простейшее объяснение.

Я не буду долго философствовать. Скорее всего я буду голосовать за то, что он заслуживает присуждения степени кандидата технических наук. Он решил достаточно сложную задачу, использовал всем известные зависимости как для внутренней, так и для внешней задачи. получил достаточно разумный результат. И оппоненты были абсолютно правы. Результаты, полученные в эксперименте совпали с результатами численного расчёта. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Есть желающие? Заканчиваем? Тогда должны приступить к тайному голосованию. Предлагаю в состав комиссии: Балабан-Ирменина Ю.В., Богачева В.А. Гриня Е.А. Нет возражений? - Нет. Пожалуйста, комиссия приступайте к работе. А у нас перерыв 5-7 минут.

Балабан-Ирменин Ю.В. - председатель комиссии (Протокол прилагается)

Я зачитаю протокол заседания счетной комиссии диссертационного совета от 21 января 2016 года. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном

голосовании по вопросу о присуждении Калинину Александру Юрьевичу ученой степени кандидата технических наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 21 человека. Присутствовали на заседании 16 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – 9, роздано бюллетеней – 16. Осталось не роздано бюллетеней – 5, в урне бюллетеней – 16. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Строкову Андрею Александровичу: за – 16, против – нет, недействительных – нет. Подписи. Председатель комиссии – Балабан-Ирменин Ю.В., члены комиссии – Богачев В.А. Гринь Е.А.

Председатель: Нам предстоит утвердить решение счетной комиссии. Кто за? - 16. Воздержавшихся - нет, против – нет. Тогда поздравляем Вас, Александр Юрьевич. А вот что мы упустили – не дали заключительное слово.

Калинин: Я хочу поблагодарить всех присутствующих на моей защите, членов уважаемого диссовета, коллег, оппонентов. За интерес, проявленный к моей работе за интересные замечания, пожелания. Я очень Вам всем благодарен. Продолжу исследования в этой области, постараюсь учесть пожелания.

Председатель: Спасибо. Поздравляем Вас! Новых научных успехов, результатов! Чтобы у Вас всё получалось.

А членам совета предстоит ещё принять заключение по присуждению Александру Юрьевичу ученой степени кандидата технических наук. Проект заключения диссертационного совета у вас есть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.222.001.01
НА БАЗЕ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ» (ОАО «ВТИ») НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 21 января 2016 года протокол №8
о присуждении Калинину Александру Юрьевичу ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование работы воздушно-конденсационных установок паротурбинных ТЭС при неравномерном теплоотводе» по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» принята к защите 26 октября 2015 года, протокол № 4 диссертационным советом Д.222.001.01 на базе Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический институт» (ОАО «ВТИ») по адресу: РФ, 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, 14. Приказ № 156/нк от 01 апреля 2014 года (с изм. 21 апреля 2014 года приказ № 215/нк).

Соискатель Калинин Александр Юрьевич, 1987 года рождения, в 2009 году окончил ФГБОУ ВПО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», работает в должности инженера-конструктора в АО «Тайфун», ведомственная принадлежность – Министерство промышленности и торговли РФ.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВПО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», ведомственная принадлежность - Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – Мильман Олег Ошерович, лауреат государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, директор по науке ЗАО НПВП «Турбокон».

Официальные оппоненты:

Зарянкин Аркадий Ефимович, лауреат государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор Национального исследовательского университета МЭИ;

Аронсон Константин Эрленович, доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) в своём положительном заключении, подписанном главным научным сотрудником, д.т.н., профессором Прибатуриным Н.А., и утвержденном директором член-корр. РАН, д.т.н. Алексеенко С.В.,

указала, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и имеет как теоретическую, так и практическую ценность. Содержание диссертации отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 05.14.14. Диссертация заслуживает положительной оценки, а Калинин Александр Юрьевич присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе 6 по теме диссертации, из которых 2 опубликованы в 2013 и 2014 г. в рецензируемом научном издании -International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в государственном реестре. В своих статьях соискатель приводит результаты и выводы диссертационного исследования по оценке зон пониженной эффективности воздушно-конденсационных установок.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. О.О. Мильман, А.Ю. Калинин, Е.А. Осипова. «Оценка зон пониженной эффективности конденсационных установок при неравномерном распределении теплосъёма методом компьютерного моделирования». International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 04/1 (123) 2013, С 10-15
2. О.О. Мильман, А.Ю. Калинин, Е.А. Лошкарёва. «Оценка эффективности работы воздушно-конденсационных установок». International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 04 2014, С 40-45
3. О.О. Мильман, А.Ю. Калинин. «Повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения секционного типа «ABC GI»». Сборник трудов КГУ, Калуга, 2010, С 16-20.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов от следующих организаций:

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет МЭИ»,
ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
ООО «Геотерм-ЭМ»,

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

ОАО «Силовые машины»,

ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана,

ООО «Интер РАО-Инжиниринг»,

ОАО «Всероссийский дважды Ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт»,

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный технический университет им. В.И. Ленина».

Все отзывы положительные, с замечаниями, ни одно из замечаний не является критическим. В некоторых отзывах на автореферат есть одинаковые замечания.

Основные замечания:

- нет четкого указания, как использовать разработки для совершенствования контурного многорядового воздушного конденсатора;
- эксперимент на модели выполнен на гладких трубах без обоснования идентичности с оребренными трубами;
- в промышленных испытаниях нет оценки точности измерения и сопоставления с экспериментом;
- все приведенные в диссертации расчетные результаты следовало бы представить не в виде зависимостей исследуемых факторов от температур насыщения, а в виде зависимостей от давлений насыщения;
- важным показателем конденсаторов является величина переохлаждения конденсата. При переносе конденсации пара из межтрубного пространства внутрь труб существенно увеличивается гидравлическое сопротивление по паровой части и, соответственно, растет переохлаждение пара. К сожалению, этот вопрос в диссертации не рассматривается, хотя для воздушных конденсаторов эта проблема достаточно актуальна;
- на многих зависимостях, приведенных в диссертации, в качестве аргумента используется массовый расход пара, что сужает рамки проведенных

исследований и затрудняет анализ полученных данных, т.к. массовый расход не является параметром, определяющим теплопередачу;

- оценивая влияние тепловой нагрузки конденсатора на размеры зоны пониженной эффективности, которая оценивается автором весьма условно, следовало бы указать, какова вероятность возникновения таких зон (по реальным нагрузкам) в натурных воздушных конденсаторах;

- требует разъяснения алгоритм распределения пара по трубам пучка ВКУ при температурной разверке с воздушной стороны;

- почему в методике расчета конденсатора принималась величина коэффициента теплоотдачи с воздушной стороны постоянной?

- почему на рис. 4.2 диссертации (рис. 10 автореферата) изменение температуры воздуха по длине трубы «становится более плавным» (формулировка со стр. 78) при увеличении тепловой нагрузки?

- на стр. 74 и 96 диссертации приведено заключение о влиянии неконденсирующихся газов в паре на «расслоение в нижней части труб». О чем идет здесь речь? Как получено данное заключение, если количество неконденсирующихся газов в паре не определялось?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их многолетним опытом и вкладом в развитие науки в области теплогидравлических процессов в агрегатах и системах ТЭС и необходимым количеством публикаций, соответствующих теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана математическая модель и программа расчета на ПК многорядной воздушно-конденсационной установки, проведены численное моделирование и экспериментальные исследования работы воздушного конденсатора;

- экспериментально доказано наличие зон неэффективной работы воздушного конденсатора и разработана методика их определения, выполнена верификация программы;

- на основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований предложены зависимости параметров модели воздушно-конденсационной установки от режимных параметров.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что теоретически и экспериментально доказана корректность физической модели, предсказывающей существование зон пониженной эффективности воздушно-конденсационных установок, разработаны на её базе математическая модель и программа расчёта теплообмена с учетом зон неэффективной работы при проектировании воздушно-конденсационных установок паровых турбин.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена математическая модель процесса теплообмена при конденсации пара в охлаждаемых воздухом параллельных каналах, верифицированная по экспериментальным данным, на её основе создана и внедрена в конструкторском бюро ЗАО НПВП «Турбокон» программа для расчета зон неэффективной работы при конструировании теплообменных аппаратов, что подтверждено соответствующим актом (Акт внедрения результатов диссертационной работы Калинина А.Ю. «Исследование работы воздушно-конденсационных установок паротурбинных ТЭС при неравномерном теплоотводе»).

Достоверность и обоснованность научных положений подтверждается применением в процессе вывода расчётных зависимостей фундаментальных физических законов и их математического описания, корректными измерениями с использованием сертифицированных приборов, практическим подтверждением результатов исследований на лабораторных и промышленных установках.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса разработки экспериментальных и промышленных установок, в разработке экспериментального стенда, непосредственном проведении научных экспериментов, разработке математической модели для выявления зон неэффективной работы воздушного конденсатора и её апробации по результатам

исследования, в разработке программы для проектирования воздушно-конденсационных установок паровых турбин и подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 21 января 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Калининну Александру Юрьевичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве – 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.14, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Надеюсь, вы успели посмотреть, пожалуйста, есть ли у кого-то замечания? - Замечаний нет. В целом давайте проголосуем. Кто за - в целом? - 16. Воздержавшихся и против – нет. Принято единогласно. Спасибо за сегодняшнюю работу ученому совету.

Председатель
диссертационного совета

Тумановский
Анатолий Григорьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Березинец
Павел Андреевич

21 января 2016 года