

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 222.001.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ОАО «ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
НАУЧНОИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27 июня 2019 года Протокол № 6
о присуждении Птахину Антону Викторовичу, гражданину РФ, учёной
степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование пусковых и переменных режимов воздушных конденсаторов и сухих градирен паровых турбин» по специальности 05.04.12 «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» принята к защите в виде рукописи 24 апреля 2019 года протокол № 4 диссертационным советом Д 222.001.01, созданным на базе Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ»), адрес: 115280, г. Москва, Автозаводская, 14 (приказ №156/нк от 01.04.2013 г. с изменениями приказ 304/нк от 22.03.2018 г.), (самостоятельная организация).

Соискатель Птахин Антон Викторович, 1988 г. рождения, в 2011 году окончил ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, в 2014 году окончил аспирантуру Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», (Минобрнауки РФ), работает в должности заместителя технического директора-руководителя службы испытаний в закрытом акционерном обществе Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбокон» (ЗАО НПВП «Турбокон» (самостоятельная организация).

Диссертация выполнена в закрытом акционерном обществе Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбокон» (ЗАО НПВП

«Турбокон») и на кафедре МЗ-КФ «Тепловые двигатели и турбомашины» Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Мильман Олег Ошеревич, директор по науке ЗАО НПВП «Турбокон», профессор кафедры МЗ-КФ «Тепловые двигатели и гидромашины» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент, Жинов Андрей Александрович, заведующий кафедрой МЗ-КФ «тепловые двигатели и гидромашины» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Официальные оппоненты:

1. **Рогалев Андрей Николаевич**, доктор технических наук, доцент, начальник управления внедрения инноваций, перспективных и нишевых продуктов ПАО «Силовые машины».

2. **Дмитриев Сергей Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ», заместитель по научной работе заведующего кафедрой паровых и газовых турбин им. А.В. Щегляева

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург в своём положительном отзыве, подписанным заведующим кафедрой «Турбины и двигатели», профессором, д.т.н. Бродовым Ю.М. и утвержденным проректором по науке, к.ф-м.н. Кружаевым В.В., указала, что диссертация Птахина А.В «Исследование пусковых и переменных режимов воздушных конденсаторов и сухих градиен паровых турбин» соответствует требованиям ВАК РФ, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (пункт 9) для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Птахин Антон Викторович заслуживает присвоения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Общий объём 5,5 печатных листа.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

Федоров В.А., Мильман О.О., Ананьев П.А., Колесников Н.В., Дунаев С.Н., Птахин А.В., Кондратьев А.В. Результаты экспериментальных исследований расходно-напорных характеристик вентилятора воздушного конденсатора паротурбинных установок (статья) // Вестник МЭИ. – 2013. – № 2. – С. 26-30.

Федоров В.А., Мильман О.О., Кондратьев А.В., Птахин А.В. Особенности конденсации пара внутри труб и каналов // Теплоэнергетика. – 2015. – №4. – С.71-80.

Мильман О.О., Птахин А.В., Кондратьев А.В., Дунаев С.Н., Кирюхин А.В. Переменные режимы работы воздушно-конденсационной установки // Теплоэнергетика. – 2016г. – № 5. С.7-13; Milman O.O., Ptakhin A.V., Kondratev A.V., Dunaev S.N., Kirjukhin A.V. Varying Duty Operation of Air-Cooled Condenser Units // Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 63. – № 5. – pp.313-318.

Мильман О.О., Птахин А.В., Кондратьев А.В., Шифрин Б.А., Яньков Г.Г. Пуск воздушно-конденсационных установок и сухих градирен при отрицательных температурах охлаждающего воздуха // Теплоэнергетика. – 2016г. – № 5. С.24-30.

Milman O.O., Ptakhin A.V., Kondratev A.V., Shifrin B.A., Zhilin A.E. Increasing the efficiency of heat removal from air steam condensers // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). – Vol. 8. – Issue 11. – November 2017. – pp. 1141-1149.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: отзыв ведущей организации - 1, отзывы официальных оппонентов - 2, отзывы на автореферат - 7.

Всего получено 10 отзывов, в том числе: ВУЗы (5), НИИ (1), энергомашиностроительные предприятия (3), энергетические компании (1). Все отзывы положительные. Во всех отзывах отмечается актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость; представленный материал рассматривается как законченная квалификационная работа, выполненная на высоком профессиональном уровне. В отзывах имеются следующие замечания:

1. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ведущая организация).

1. Отсутствует раздел «личный вклад автора» во введении диссертации.
2. Следовало бы выполнить постановку задачи в выводах к I главе явным образом.
3. с.46 Известно, что термопары измеряют температуру участка длиной 5...10 диаметров чувствительного спая. Какой был диаметр спая термопар, закрепленных между рёбер теплообменника и какую температуру показывали термопары во время эксперимента при таком креплении?
4. В разделе 2.3 при расчете погрешности измерения температур учитывается систематическая часть погрешности как термопреобразователей, так и вторичных приборов, хотя на с.46 указано, что термопары, используемые в эксперименте, поверены и откалиброваны вместе с вторичным преобразователем ТРМ-148 для уменьшения погрешности показаний. Вообще говоря, погрешность разности температур уже является погрешностью косвенной величины и будет выше, чем погрешности каждой из этих температур, особенно это касается относительной погрешности.
5. Чем обусловлен тот факт, что при разнице начальных температур окружающего воздуха 53°C разность максимальных температур прогретого металла составит всего 20°C? (с.80)

2. ПАО «Силовые машины», д.т.н. Рогалев Андрей Николаевич (официальный оппонент).

1. При анализе работы воздушных конденсационных установок и сухих градирен наряду с экспериментальными исследованиями целесообразно было использовать методы конечно-элементного анализа. Особенно актуальным использование указанных методов представляется при исследовании работы сухой градирни,

результаты которого приведены в главе 6 диссертации. Это позволило бы получить больше информации, в том числе количественной, о структуре и параметрах потока охлаждающего воздуха в рабочем пространстве градирни.

2. В первой главе диссертации мало внимания уделено конструктивному исполнению и особенностям функционирования существующих вариантов систем подогрева.

3. Из текста диссертации не вполне понятно, каким образом результаты, полученные на макете воздушного конденсатора, могут быть перенесены на натурный образец, какие критерии подобия макета и натурального образца должны соответствовать для обеспечения достоверности такого переноса.

4. На странице 18 автореферата автор, ссылаясь на результаты испытания, делает вывод о возможности прогрева поверхности теплообмена при обдуве паром до 40-45°C за 8-10 минут. При этом из представленных на этой же странице графиков изменения температуры теплообменной поверхности при прогреве во времени, приведенных на рисунке 8, этого не следует.

5. В работе стоило провести оценки сравнительной экономической эффективности применения ВКУ и СВГ в сопоставлении с классическими схемами отвода тепла.

3. ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», к.т.н. Дмитриев Сергей Сергеевич (официальный оппонент).

1. Сравнение вариантов ВКУ с прямой конденсацией, по схеме Геллера со смешивающим конденсатором и с поверхностным конденсатором в табл. 1.1 не очень понятно. Сравниваются 3 варианта, а столбцов для сравнения - 2.

Не очень понятно также, почему для смешивающего конденсатора принята кратность циркуляции на уровне поверхностного конденсатора. Известным преимуществом смешивающих конденсаторов является меньший расход охлаждающей воды.

Кроме того, сравнение вариантов только по площади охлаждаемой воздухом поверхности не является корректным и не дает полного представления о положительных и отрицательных сторонах возможного применения той или иной схемы.

2. На стр.28 работы читаем смелое утверждение «Формулы для расчета коэффициента теплопередачи... имеют эмпирический характер и слабо отражают физические особенности конденсации пара в трубном пучке». Но одновременно чуть ниже читаем, что «для инженерных расчетов конденсаторов с достаточной для практических целей точностью могут быть рекомендованы методики ВТИ, ИТО США, КТЗ и УГТУ-УПИ». Непонятно, что же делать, если в тексте не отдано предпочтение ни одной методике.

3. Схему реперных точек для размещения термопар на теплообменном модуле макета на рис.2.4 следовало бы обосновать. Почему на входной поверхности термопар 6, а на выходной – только 2. Аналогично схему размещения термопар на теплообменном модуле ВКУ на рис.4.10 также следовало бы обосновать.

4. В качестве критерия при проведении экспериментов была выбрана «величина относительного прогрева металла теплообменника (разности конечной, в установившемся режиме, и начальной температур) для места измерения, где этот прогрев максимален, и для места, где он минимален», но эти места и соответствующие номера термопар в тексте не указаны.

4. **ПАО «Мосэнерго»**, начальник инженерного управления, к.т.н., Голов Павел Валерьевич.

1. Не вполне понятен количественный уровень и стоимость энергетических затрат в зависимости от применяемых методов предпускового прогрева воздушного конденсатора

5. **ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»**, профессор кафедры паровых и газовых турбин, д.т.н., Зарянкин Аркадий Ефимович.

1. Требуется ли время при переходе от режима прогрева к режиму набора тепловой нагрузки, если да, то каково оно и как оно соотносится с темпами уменьшения температур вследствие естественной конвекции?

2. Требуется ли монтаж специального оборудования перед пуском для прогрева в условиях отрицательных температур и ее демонтаж после выхода на эксплуатационный режим или эта часть постоянно находится в готовности? Отражается ли последнее на характеристиках воздушного конденсатора?

6. **ИТ СО РАН**, главный научный сотрудник, д.т.н., Прибатурин Николай Алексеевич.

1. Возможная степень усложнения конструкции воздушного конденсатора, связанная с необходимостью обеспечения безопасного пуска в зимний период, влияние этих усложнений на изменение расчетных характеристик воздушного конденсатора;
2. Энергетические затраты, необходимые для пускового прогрева воздушного конденсатора в зимний период.

7. **ОАО «КТЗ»**, технический директор Сербин Иван Сергеевич, начальник отдела паровых турбин, к.т.н., Голдин Александр Сергеевич.

1. Непонятен физический смысл параметра ε в выражении (1), и как по экспериментальным данным определить его величину.
2. В чем разница $t_{вх}$ и $t_{н}$.
3. Почему интерес представляют не только темпы прогрева конструкции, но и темпы охлаждения при прекращении прогрева.

8. **ПАО «Калужский двигатель»**, ведущий инженер-конструктор бюро турбокомпрессоров, термодинамических, газодинамических и прочностных расчетов конструкторского отдела, к.т.н., Супельняк Максим Игоревич.

1. Не указано, при каких условиях будет справедливо предположение (с.12) о том, что измеряемая максимальная температура металлической поверхности практически не зависит от начальной температуры воздуха при времени прогрева от 50 минут.
2. Из автореферата не ясно, из каких соображений получены формулы (1) и (2). Было бы, желательно, кратко указать допущения и уравнения, используемые при их выводе.

9. **ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского»**, зав. кафедрой физики и математики, к.т.н., доцент Сережкин Леонид Николаевич.

1. Не совсем ясно, из каких соображений выбраны конфигурации воздушного конденсатора и сухой градирни, на которых получены экспериментальные данные, приведенные в работе.

2. Необходимо пояснить, как учтены возможные агрегатные переходы теплоносителя в физической модели, приведенной в работе (случай отрицательных температур окружающего воздуха).

3. Было бы интересным проверить расчетную методику прогнозирования параметров для неисследованных экспериментально режимов 3D моделированием.

10. **ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»**, старший научный сотрудник, профессор кафедры инженерной теплофизики, д.т.н., Яньков Георгий Глебович.

1. Из формулы (1) на стр. 14 следует, что при больших временах температура нагреваемого объекта t_m становится равной $t_{в\text{х}}$, которая названа "температурой окружающего воздуха". Не ясно, чем греется объект - паром или воздухом? Выше утверждалось, что воздухом нагревать не следует из-за больших неоднородностей температуры нагреваемого объекта. Чем отличаются температуры окружающих воздуха и среды t_n ?

2. Как понимать утверждение: "Экспериментальные зависимости, полученные при определенной температуре, могут быть использованы для этого же объекта при других температурах, если зависимость не меняется"? Если, то эта величина меняется во времени. Что важно - зависимость от времени сохраняется, или подводимая теплота не меняется во времени?

Официальные оппоненты выбраны потому, что они являются известными специалистами по рассматриваемым в диссертации вопросам, и не имеют общих с соискателем публикаций.

Ведущая организация широко известна своими достижениями в области фундаментальных и прикладных научных исследований важнейших проблем развития энергетики. Она имеет богатый опыт в исследовании теплообменных аппаратов, в частности используемых на ТЭС. В ней работают высококвалифицированные специалисты, результаты работ которых публикуются в научных журналах, в т.ч. рекомендованных ВАК.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

обобщены экспериментальные данные и выявлены особенности процессов прогрева поверхностей теплообмена воздушных конденсаторов паровых турбин при различных видах и способах подачи греющей среды;

установлено, что при нагреве воздухом наблюдается значительная неравномерность температуры теплообменных труб, не обеспечивающая надежность пуска.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации разработаны физические и математические модели процессов прогрева и охлаждения поверхностей теплообмена воздушных конденсаторов паровых турбин для прогнозирования изменения их температуры, в том числе при экстремально низких наружных температурах и получены выражения, описывающие зависимость этой температуры:

- при нагреве конструкции от расхода тепла, приносимого извне теплоносителем, условий окружающей среды и времени нагрева:

$$\Delta t_M = \frac{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{пв}} \cdot \varepsilon \cdot (t_{\text{в вх}} - t_{\text{н}})}{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{пв}} \cdot \varepsilon + \alpha \cdot F} \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{(G_{\text{в}} \cdot c_{\text{пв}} \cdot \varepsilon + \alpha \cdot F) \cdot \tau}{c_M \cdot M_M}}} \right)$$

- при охлаждении воздушного конденсатора после прекращения прогрева

$$\Delta t_M = t_M - t_{\text{н}} = t_{\text{мо}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha_0 \cdot F}{0,33 \cdot c_M \cdot M_M} \cdot \tau \right)^3}$$

Расчет по ним дает удовлетворительную сходимость с результатами экспериментов на моделях и на натурном образце воздушного конденсатора.

С помощью предложенного в работе способа прогрева с внешней подачей пара достигается равномерное распределение температур в теплообменной поверхности ВКУ. При этом разница температур металла в различных частях поверхности практически не зависит от начальной температуры воздуха и уже через 30 минут становится менее 10°C.

Показано, что эффективность прогрева теплообменного модуля ВКУ определяется теплотой парообразования при его конденсации. Температура

греющего пара не имеет существенного значения, а необходимая скорость прогрева обеспечивается расходом пара.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные автором рекомендации по выбору параметров систем предпускового обогрева воздушных конденсаторов и сухих градирен паровых турбин и по допустимым неравномерностям нагрева секций используются при проектировании и эксплуатации охлаждаемых воздухом поверхностей теплообмена СГ и ВКУ при низких наружных температурах и позволяют обеспечить надежное функционирование воздушных конденсаторов и сухих градирен паровых турбин в широком диапазоне тепловых нагрузок и температур охлаждающего воздуха.

Оценка достоверности результатов исследования выявила их обоснованность. Она обеспечивается применением апробированных математических моделей, основанных на широко известных закономерностях тепломассообмена, корректной постановкой задачи и планированием эксперимента, использованием поверенных измерительных приборов, имеющих необходимый уровень точности в диапазоне измеряемых величин, хорошим согласованием расчётных и экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, анализе литературы по теме диссертации, создании математической и физической модели прогрева и остывания теплообменных аппаратов, планировании эксперимента, участии во всех этапах разработки и создания системы обогрева для экспериментального стенда макетов воздушного конденсатора, проведении лабораторных экспериментов, выполнении измерений, обработке и анализе полученных результатов, участии в разработке методики расчёта переменных режимов воздушного конденсатора, организации, подготовки и участии в испытаниях на натурной секции воздушного конденсатора, организации, подготовки и участии в испытаниях сухой градирни на действующих электростанциях, организации, подготовки и участии в испытаниях воздушного конденсатора на действующем энергоблоке газоперекачивающей станции, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены результаты, обеспечивающие решение важной научной и прикладной задачи совершенствования проектирования и эксплуатации паровых турбин с воздушными конденсаторами и сухими градирнями. Работа соответствует п. 1 паспорта специальности 05.04.12 — «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» и отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года (с изменениями №335 от 21 апреля 2016 года).

На заседании 27 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Птахину А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по специальности защищаемой диссертации 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени - 13, против присуждения учёной степени - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета



Г.Г.Ольховский

Г.А.Рябов

«27» июня 2019 г.