

## ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

PhD, ассоциированный профессор

**Жумагулов Михаил Григорьевич**

на диссертационную работу

**Шавдиновой Мадины Джалаудиновны**

на тему: «**Математическое моделирование элементов конденсационной установки при исследовании и разработке способов повышения эффективности работы ТЭЦ**»  
представленную на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D071700 – Теплоэнергетика

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) <b>Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан</b> (указать направление)</p>	<p>Тема диссертации <b>соответствует</b> основным действующим приоритетам использования конденсационных установок паровых турбин в энергетике</p> <p>Приоритетное направление развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, первоочередных направлений развития науки РК «Энергетика и машиностроение» (Национальный доклад по науке. – Нур-Султан; Алматы, 2021 – 250 с.).</p>
2.	Важность для науки	Работа <b>вносит/не вносит</b> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <b>раскрыта/не раскрыта</b>	Представленная диссертационная работа относится к прикладным научным исследованиям. Работа вносит существенный вклад в науку, так как раскрывает тему на основе результатов математического моделирования элементов

			конденсационной установки (конденсатора и эжектора), получения расширенных нормативных характеристик конденсатора, диагностики состояния конденсационной установки, полезной модель двухступенчатого пароструйного эжектора, диагностической модели оценки рисков потери эффективности конденсационной установки для ТЭС. Важность и практическая ценность новых подходов полностью <b>раскрыты</b> и обоснованы автором.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	В работе отмечен личный вклад автора, заключающийся в следующих позициях: постановки цели и задач исследования, проведении аналитического обзора литературных данных, расчетных исследований, разработкой математических моделей конденсатора и эжектора, создании программ расчетов на моделях в табличном редакторе MS Excel, разработки опросных листов для сбора информации с ТЭЦ, разработки анализа рисков потерь эффективности КУ, подготовке основных публикаций по выполненной работе.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность исследования обоснована и раскрыта в работе следующими фактами: 1) конденсационная установка - важнейшая технологическая система, в большей степени обуславливающая эффективность и надежность работы установок паровых турбин ТЭС. Неисправности в работе конденсационного агрегата приводят к снижению эффективности ПТУ; 2) широким использованием теплофикационных паротурбинных установок на ТЭС РК; 2) возможностью использования методами

		<p>диагностики, мониторинга и оценки состояния КУ;</p> <p>3) использованием расширенных нормативных характеристик конденсатора, учитывающих нынешнее состояние оборудования;</p> <p>4) необходимостью разработки информационного комплекса конденсационной установки ТЭЦ.</p>
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <p>1) Отражает;</p> <p>2) Частично отражает;</p> <p>3) Не отражает</p>	<p>Содержание диссертации <b>полностью отражает</b> тему диссертации. Предоставленный материал диссертационной работы имеет требуемую для оформления диссертационных работ структуру, содержит все требуемые элементы. Основные положения диссертационной работы отражены в научных работах диссертанта. Получен патент на полезную модель и научные публикации в рецензируемых журналах с достаточным процентилем.</p>
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <p>1) <b>соответствуют</b>;</p> <p>2) частично соответствуют;</p> <p>3) не соответствуют</p>	<p>Диссертант поставил цель и задачи по разработке математических моделей элементов конденсационной установки на основании новых методических подходов и технических решений и внедрение результатов диссертационной работы на ТЭЦ для обеспечения повышения качества прогнозирования надежной и эффективной работы КУ паровой турбины.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <p>1) <b>полностью взаимосвязаны</b>;</p> <p>2) взаимосвязь частичная;</p> <p>3) взаимосвязь отсутствует</p>	<p>Представленный материал диссертационной работы имеет требуемую для оформления диссертационных работ структуру, содержит все требуемые элементы.</p> <p>Работа состоит из 6 разделов, списка условных обозначений и сокращений, введения, заключения, списка использованной литературы и приложений. В состав работы входят 15 таблиц, 40 рисунков, перечень 86 использованных источников.</p>

		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <p><b>1) критический анализ есть;</b>  <b>2) анализ частичный;</b>  <b>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</b></p>	<p>Предложенные автором <b>новые методы и решения</b> аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями на основании критического анализа, проведенного в каждом разделе диссертационной работы, начиная с историографии проблемы, анализа устоявшихся и актуальных подходов и методик, также в последующих главах. Кроме того, по результатам проведенного исследования получен патент № 6298 на полезную модель пароструйного эжектора.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p><b>1) полностью новые;</b>  <b>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</b>  <b>3) не новые (новыми являются менее 25%)</b></p> <p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p><b>1) полностью новые;</b>  <b>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</b>  <b>3) не новые (новыми являются менее 25%)</b></p>	<p><b>Новизна</b> научных результатов, представленных в диссертации, определяется применением полностью новых, не применявшимися ранее методик и подходов.</p> <p>Выводы работы, основанные на результатах математического моделирования, представлены новыми методиками, которые имеют практическую и научную ценность.</p> <p><b>К полностью новым</b> относятся следующие выводы диссертационной работы:</p> <p>1) Разработаны математические модели конденсатора и эжектора, применяемые на ТЭЦ с турбинами типа Т.</p> <p>2) Получена новая математическая зависимость для расчета основных и встроенных пучков труб конденсатора.</p> <p>3) Получено, что при барометрическом давлении в конденсаторе турбины ниже 100 кПа целесообразна установка нового основного двухступенчатого пароструйного эжектора вместо действующего (получен патент на полезную модель двухступенчатого эжектора).</p>

		<p>4) На основе разработанной модели учета раздельного подсоса воздуха и загрязненной поверхности конденсатора паровой турбины АлЭС ТЭЦ-2 установлено, что отклонение фактических показателей конденсатора от нормативных показателей определяется в основном загрязнением трубок конденсатора. Присосы воздуха в большинстве режимов не оказывают влияния.</p> <p>5) На основе проведенного полного многоуровневого анализа эксплуатационных рисков оборудования КУ определены вероятности различных типов нарушений функционирования конденсатора;</p> <p>6) Впервые получен СУ-код, включающий следующие модули: математические модели конденсатора и пароструйного эжектора, диагностическую модель конденсатора, дерево событий, двухступенчатый эжектор. Разработанные модули взаимосвязаны между собой, но могут использоваться по отдельности. СУ-код передается ТЭЦ для дальнейшего использования вместе с рекомендациями рабочему персоналу ТЭЦ по повышению эффективности работы КУ ТЭЦ.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p> <p>В диссертационной работе предложены <b>полностью новые</b> методические подходы и технические решения, позволяющие повысить эффективность работы КУ и всей ТЭЦ в целом. Предложена математическая модель конденсатора паровой турбины, позволяющая определять нормативные значения абсолютных давлений пара конденсатора, значений расходов пара, охлаждающей воды во встроенный и основной</p>

		<p>пучки труб, значения коэффициента чистоты. Разработан программный комплекс СУ, позволяющий проводить диагностирование состояния конденсационной установки. Проведен анализ рисков потери эффективности КУ с разработкой дерева-событий. Получен программный комплекс, который позволяет определять вероятности событий за любой промежуток времени.</p> <p>Разработана конструкция нового двухступенчатого эжектора, получен патент на полезную модель.</p> <p>Представлена структура разработанного комплекса СУ-кода, позволяющая проводить энергетический аудит, разрабатывать мероприятия по повышению эффективности, диагностику и мониторинг состояния оборудования ТЭС.</p>
6	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <b>основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах</b> либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) <b>доказано;</b></p>

	<p>2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано</p> <p><b>7.2 Является ли тривиальным?</b> 1) да; 2) нет</p> <p><b>7.3 Является ли новым?</b> 1) да; 2) нет</p> <p><b>7.4 Уровень для применения:</b> 1) узкий; 2) средний; 3) широкий</p> <p><b>7.5 Доказано ли в статье?</b> 1) да; 2) нет</p>	<p>программные обеспечения универсальны, могут применяться для любых типов конденсаторов паровых турбин, просты в использовании и актуальны.</p> <p>Математическая модель полностью описывает процесс расчета конденсатора, включая его основные и встроенные пучки труб. Процедура расчета основного пучка конденсатора выполняется на основе методики ВТИ, а для встроенного пучка используется методика «Метро-Виккерс». Создана программа для расчета конденсатора со встроенными и основными пучками в табличном редакторе MS Excel.</p> <p>На основе разработанной модели построены нормативные характеристики конденсатора во всем диапазоне расходов пара в конденсатор, превышающем значения расходов пара по нормативным характеристикам завода-изготовителя турбины. Проведена верификация нормативных характеристик опытными данными.</p> <p><b>7.2 Является ли тривиальным?</b> Положение не является тривиальным, так как предложенные решения позволяют повысить эффективность работы конденсационной установки, универсальны, могут применяться для любых типов конденсаторов паровых турбин, просты в использовании и актуальны.</p> <p><b>7.3 Является ли новым?</b> Все 7 положений, выносимых на защиту, являются принципиально новыми:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- математическая модель и ее программное обеспечение конденсатора паровой турбины, позволяющая определять расчетные (нормативные) значения абсолютных давлений пара конденсатора, значений расходов пара,</li> </ul>
--	---	---

охлаждающей воды во встроенный и основной пучки труб, значения коэффициента чистоты;

- построение нормативных характеристик конденсатора во всем диапазоне расходов пара в конденсатор, превышающем значения расходов пара по нормативным характеристикам завода-изготовителя турбины;
- разработку модуля учета раздельного влияния на давление пара в конденсаторе присосов воздуха и загрязнения трубок;
- разработку математической модели и ее программного обеспечения трехступенчатого пароструйного эжектора;
- предложение установки нового двухступенчатого основного эжектора, дающего экономию тепловой энергии на собственные нужды турбины, но и за счет углубления вакуума в конденсаторе;
- проведен расчет оптимального срока очистки конденсатора;
- представлена структура разработанного комплекса СУ-кода, которая позволяет проводить энергетический аудит, разрабатывать мероприятия по повышению эффективности, диагностику и мониторинг состояния оборудования ТЭС.

#### **7.4 Уровень для применения:**

Положения, выносимые на защиту, имеют широкий спектр применения. Разработанные в диссертационной работе математические модели конденсатора и эжектора, модель учета раздельного подсоса воздуха и загрязненной поверхности конденсатора паровой турбины типа Т, возможность определения вероятности различных типов нарушений функционирования конденсатора, уровень применения СУ-код не

			<p>только для использования на АлЭС ТЭЦ-2, а также на других ТЭС РК, определяет широкий уровень применения предлагаемых решений. Могут использоваться в целях диагностики и мониторинга состояния оборудования, при проведения энергетического аудита станции, а также в процессе обучения теплоэнергетиков при проведении виртуальных лабораторных работ.</p> <p><b>7.5 Доказано ли в статье?</b></p> <p>Основные положения отражены в научных публикациях: 15 научных статьях и докладах МНТК, в том числе: 5 научных статей в отечественных изданиях из списка рекомендованных КОКСНВО; 8 научных докладов в сборниках в международных научно-технических конференций; 2 научные статьи, индексируемые в базе Scopus: одна статья в журнале Journal of Applied Engineering Science (JAES) с процентилем на момент публикации 47% по разделу «Общая инженерия», одна статья в журнале Thermal Engineering (English translation of Teploenergetika) с процентилем на момент публикации 31% по разделу «Энергетика и энергетические технологии». Имеется патент на полезную модель и разработаны методические указания к выполнению виртуальных лабораторных работ.</p>
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) да; 2) нет	<p>Выбранные методы исследования в работе обоснованы, детально описаны.</p> <p>Результаты диссертационной работы получены с использованием:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- экспериментальных данных показателей работы турбины Т-110/120-130-5;</li> <li>- результатов теплового расчета конденсатора с</li> </ul>

		<p>помощью различных методик: ВТИ, КТЗ, УГТУ-УПИ и ИТО (США). С использованием программного комплекса в Microsoft Excel были выполнены расчеты параметров при различных значениях расхода пара в конденсаторе для трех типов эжекторов: ЭПО-3-200, ЭП-3-25/75 и ЭПО-2-80.</p>
	<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) да; 2) нет</p>	<p>Результаты диссертационной работы получены с использованием следующих современных научных методов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- экспериментальных данных показателей работы турбины Т-110/120-130-5 за период с января по декабрь 2020 года, полученных на АлЭС ТЭЦ-2;</li> <li>- осуществлено сравнение результатов теплового расчета конденсатора с помощью различных методик. Расчет проведен, используя разработанное автором программное обеспечение.</li> </ul>
	<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) да; 2) нет</p>	<p>Предложенные подходы к разработке математической модели конденсатора, имеющего основные и встроенные пучки труб, представленный алгоритм расчета, система уравнений, позволяющая определять значения давлений пара в основном и встроенном пучках, подтверждаются данными промышленного эксперимента. Проведена верификация результатов вычислительного эксперимента.</p>
	<p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>Все необходимые ссылки в работе имеются. Число ссылок составило 86 источников. Имеются ссылки на собственные труды (около 23 источника).</p>
	<p>8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора</p>	<p>Наибольшее число ссылок наблюдается в первой главе – непосредственно в обзоре, где представлен анализ исследований повышения эффективности работы КУ ТЭЦ.</p>

9	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) да; 2) нет</p>	<p><b>Теоретическое значение диссертационной работы состоит:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– в разработке математических моделей и программы расчета конденсатора и пароструйного эжектора для станций с теплофикационными турбинами типа Т;</li> <li>– в разработке новых расширенных нормативных характеристик конденсатора;</li> <li>– в создании диагностической модели по учету раздельного влияния присосов воздуха и загрязнения поверхностей теплообмена на давление пара в конденсаторе;</li> <li>– в разработке модулей модели, позволяющих производить оценку влияния загрязнений на гидравлическое сопротивление в конденсаторе, потери вакуума и снижении мощности из-за наличия загрязнений.</li> </ul>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) да; 2) нет</p>	<p>Получен АКТ о внедрении результатов диссертационной работы в проекты АО «Институт КазНИИПИЭнергопром» при проектировании и эксплуатации конденсационных установок ТЭС с возможностью внедрения данных разработок на станциях с теплофикационными турбинами.</p> <p>Получен АКТ о внедрении результатов диссертационной работы на ТЭЦ-2 им. Жакутова АО «АлЭС».</p> <p>Получены АКТы внедрения результатов НИР (ОКР) в учебный процесс Казахстанско-Немецкого Университета и НАО АУЭС им. Г. Даукеева.</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p> <p>1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p>	Для ТЭС РК предложения являются новыми. По результатам работы формулируются задачи дальнейшего исследования и применения результатов в производстве.

		3) не новые (новыми являются менее 25%)	
10.	Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) <b>высокое;</b>            2) среднее;            3) ниже среднего;            4) низкое.</p>	<p><b>Качество академического письма в диссертационной работе достаточно высокое.</b>            При написании работы автор пользуется строго научным языком. Изложение материала логично.</p>

Диссертационная работа на тему: «Математическое моделирование элементов конденсационной установки при исследовании и разработке способов повышения эффективности работы ТЭЦ» отвечает требованиям «Правил присуждения степеней» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, а соискатель Шавдинова Мадина Джалалдиновна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071700 - «Теплоэнергетика».

#### Официальный рецензент:

PhD, ассоциированный профессор,  
 доцент кафедры «Теплоэнергетика»  
 НАО «Евразийский национальный  
 университет им. Л.Н. Гумилева»

