

**АННОТАЦИЯ**  
**диссертационного исследования ТАЖИБАЕВА АДИЛЬБЕКА**  
**АМИРБЕКОВИЧА**  
**на тему: «ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ**  
**ПОСТРОЕНИЯ КЛИЕНТОРИЕНТИРОВАННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА И**  
**ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ»**, представленной на соискание  
степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 –  
«Автоматизация и управление»

**Общая характеристика работы.** Диссертационное исследование представлено к защите в форме серии статей в соответствии с пунктом 5-1 Правил присуждения степеней (Приказ Министра науки и высшего образования РК №127 от 31 марта 2011 с изменениями и дополнениями от 18 июля 2024 года). Основанием для выбора данной формы является наличие у соискателя 3 (трех) публикаций в международных рецензируемых научных изданиях, входящих в 1-й и 2-й квартили (Q1, Q2) базы данных Web of Science Core Collection. Совокупность представленных статей образует единое завершённое научное исследование, объединённое общей целью, методологией и объектом исследования.

**Цель диссертационного исследования** – повышение качества и сокращение сроков изготовления трансформаторного оборудования путем создания комплексной автоматизированной системы, которая объединяет контуры проектирования (CAD), инженерного анализа (CAE) и технологического управления (CAM) в единую цифровую среду с обратной связью.

**Задачи исследования:**

1. Разработать метод численного анализа и минимизации виброакустической активности реакторного оборудования для интеграции в расчетный модуль системы (Решение в статье №3 – «Cogent Engineering»).

2. Провести экспериментальное исследование и разработать алгоритмы оптимизации процесса сушки твердой изоляции для технологического модуля системы (Решение в статье №2 – «Results in Engineering»).

3. Разработать архитектуру и принципы построения клиентоориентированных систем проектирования, учитывающих требования заказчика на ранних этапах (Решение в статье №1 – «Journal of Computational and Cognitive Engineering»).

4. Создать программно-алгоритмические средства (САПР) для реализации предложенных методов (Решение в статье №1 – Journal of Computational and Cognitive Engineering).

**Объектом исследования** является автоматизированное управление процессами проектирования и производства высоковольтного маслонаполненного оборудования (трансформаторов и реакторов).

**Предмет исследования:** методы и алгоритмы автоматизации расчета, конструирования и управления технологическими параметрами изготовления (на примере виброакустических процессов и сушки изоляции).

**Методология исследования** основана на индуктивном системном подходе. Исследование строилось по принципу «от частного к общему»:

1. На первом этапе (2023–2024 годы) нами были решены задачи идентификации и автоматизации критических технологических подсистем.

– Была разработана математическая модель для подсистемы анализа виброакустики (статья в журнале *Cogent Engineering*, Q2).

– И синтезированы алгоритмы управления процессом сушки изоляции для подсистемы САМ (статья в журнале *Results in Engineering*, Q1).

2. На втором, завершающем этапе (2025 год), на основе полученных моделей и алгоритмов был выполнен теоретический синтез. Была разработана общая архитектура клиентоориентированной системы, которая объединила эти частные решения. Результаты этого обобщения представлены в обзорно-аналитической статье (*Journal of Computational and Cognitive Engineering*, Q1).

**Научная новизна полученных результатов:**

1. Впервые обоснована концепция клиентоориентированной автоматизированной системы трансформаторостроения, отличающаяся сквозной интеграцией требований заказчика в технологические переделы (сушка, сборка).

2. Разработан метод оценки виброакустических характеристик шунтирующих реакторов, отличающийся учетом влияния конструктивных демпферов на резонансные частоты активной части.

3. Установлены закономерности кинетики сушки твердой изоляции, позволившие разработать алгоритм выбора оптимального метода термовакуумной обработки для повышения диэлектрической прочности.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Архитектура комплексной системы проектирования, обеспечивающая трансформацию требований заказчика в верифицированные технические решения.

2. Методика расчетного анализа виброактивности реакторов, позволяющая на этапе проектирования обеспечить соответствие санитарным нормам шума.

3. Технологический алгоритм управления процессом сушки изоляции, обеспечивающий максимизацию ресурса трансформатора за счет удаления влаги без деструкции целлюлозы.

**Актуальность диссертационного исследования.**

Трансформаторостроение как ключевая отрасль энергетического машиностроения остаётся одной из наиболее трудоёмких и консервативных сфер. Традиционные методы проектирования с использованием разрозненных систем САПР, документооборота и планирования не соответствуют современным требованиям по скорости обработки данных, адаптивности и точности расчётов.

В условиях Индустрии 4.0 современное трансформаторостроение сталкивается с системной проблемой. Существующие средства автоматизации носят «островной» характер:

- конструкторы работают в своих САД-системах;
- расчетчики - в изолированных математических пакетах;
- технологи в цехе управляют процессами (такими как сушка или сборка), зачастую на основе эмпирического опыта, без прямой цифровой связи с исходным проектом.

Этот разрыв информационных потоков приводит к тому, что требования заказчика теряются на стыках этапов, а физические ограничения производства (например, вибрационные риски) не учитываются при проектировании. Это также приводит к увеличению сроков разработки и снижению эксплуатационной надежности.

Таким образом, актуальной научной и практической задачей является создание клиентоориентированной комплексной автоматизированной системы управления процессами расчёта и изготовления трансформаторов (ККАСУПРИТ), объединяющей инженерные расчёты, конструкторско-технологическую документацию, производственные процессы и взаимодействие с заказчиком в едином цифровом контуре предприятия.

#### **Практическая значимость результатов исследований.**

Разработанная клиентоориентированная комплексная автоматизированная система управления процессами расчёта и изготовления трансформаторов (ККАСУПРИТ) внедрена в производственную практику предприятий ТОО «Asia Trafo» и ТОО «TRENCO R&D», где продемонстрировала значительный технологический, организационный и экономический эффект. Средняя длительность проектного цикла уменьшилась с 45 до 30 календарных дней, а время согласования технической документации - с 10 до 3 дней. Количество ошибок, выявляемых при передаче данных между расчётными и производственными подразделениями, снизилось более чем в пять раз. В технологической части производства разработанная и внедрённая технология вакуумной сушки под изостатическим прессованием обеспечила повышение степени полимеризации изоляции, улучшение её диэлектрических свойств и увеличение срока службы трансформаторов на 10–12 %. Время полного цикла сушки сократилось более чем вдвое, а энергозатраты на процесс снизились на 30%. В области виброакустических характеристик шунтирующих реакторов реализованы практические меры по снижению уровня шума на 18 % и вибрации - на 25%.

Экономическая эффективность внедрения ККАСУПРИТ подтверждается снижением прямых затрат на проектирование и сопровождение заказов на 22–25%, сокращением длительности производственного цикла на 20–25% и увеличением производительности инженерных подразделений на 40%. В целом внедрение системы позволило повысить конкурентоспособность предприятий, увеличить количество одновременно выполняемых заказов и расширить экспортный потенциал продукции.

**Достоверность результатов.** Все полученные результаты подтверждаются результатами компьютерного моделирования в САД-системе TRDO/TDS, их согласованностью с экспериментальными данными и экспертными оценками. Научные положения и выводы исследования прошли апробацию в виде публикаций в рецензируемых международных журналах (Q1–Q2 Web of Science) и рекомендованных КОКСНВО отечественных изданиях, а также в полученных охранных документах, что подтверждает воспроизводимость и значимость работы.

**Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.**

Исследования выполнялись в соответствии с утверждённым планом исследований и в рамках следующих научных проектов:

– ГСНС/ГМНС № 5 от 10 ноября 2021 г. «Разработка и внедрение клиенториентированной комплексной автоматизированной системы расчёта и изготовления трансформаторов»;

– АР14871951 «Увеличение срока службы трансформаторов методом исследования процессов сушки и прессовки твёрдой изоляции»;

– АР09057919 «Исследование уменьшения вибрации и шума в реакторах на класс напряжения 110–750 кВ с целью увеличения жизненного цикла».

**Структура диссертационной работы, представленной в виде серии статей.**

Диссертационная работа представлена в виде серии научных статей и охранных документов, опубликованных соискателем лично и в соавторстве, в которых последовательно изложены и обоснованы основные научные положения диссертации.

Диссертационная работа включает следующие публикации:

1. **Tazhibayev A.A., Utepbergenov I.T., Skliarova I.V.** *Development of Customer-Focused Automated Systems for Transformer Design and Manufacturing: A Comprehensive Review // Journal of Computational and Cognitive Engineering.* – 2025.

(Вклад соискателя – соискатель инициировал и подготовил основную часть обзорного исследования, сформулировал концепцию клиентоориентированных автоматизированных систем, выполнил анализ существующих подходов и обобщение результатов.)

2. **Tazhibayev A., Amitov Y., Arynov N., Shingissov N., Kural A.** *Experimental investigation and evaluation of drying methods for solid insulation in transformers: A comparative analysis // Results in Engineering.* – 2024.

(Вклад соискателя – соискатель разработал методику экспериментальных исследований, участвовал в обработке и интерпретации экспериментальных данных.)

3. **Tazhibayev A., Utepbergenov I.T., Amitov Y., Ateyev D.** *Assessing noise and vibration mitigation in low-vibroacoustic shunt reactors // Cogent Engineering.* – 2024.

(Вклад соискателя – соискатель внёс основной вклад в анализ виброакустических характеристик и предложил инженерные решения по их снижению.)

4. **Тажобаев А.А.**, Утепбергенов И.Т., Амитов Е.Т., Атеев Д.Т. *Подход к снижению шума и вибрации шунтирующих реакторов на основе усовершенствования конструкции и применяемых материалов // Вестник Алматинского университета энергетики и связи.* – 2023.

(Вклад соискателя – соискатель разработал конструктивные предложения и обосновал выбор материалов.)

5. **Тажобаев А.**, Утепбергенов И., Амитов Е., Склярора Ю., Кулакбаев Г. *Analysis of automation strategy for integrated customer-oriented system via smart digital nodes in distribution transformers // Вестник КазАТК.* – 2024.

(Вклад соискателя – соискатель сформулировал архитектуру автоматизированной системы и участвовал в разработке алгоритмов управления.)

6. Амитов Е., **Тажобаев А.**, Атеев Д., Арынов Н., Шингисов Н. *Исследование методов сушки с прессованием твердой изоляции силовых трансформаторов с целью увеличения жизненного цикла // Вестник КазАТК.* – 2024.

(Вклад соискателя – соискатель принимал участие в постановке задачи и анализе результатов исследований.)

В рамках выполнения диссертационной работы также получены охранные документы:

– Свидетельство о внесении в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №28228 (2022). Клиентоориентированная комплексная автоматизированная система расчета «REng».

(Вклад соискателя – соискатель участвовал в разработке программной архитектуры и функциональных модулей.)

– Патенты на полезные модели и изобретения (2022–2024 гг.), включая высокоэффективные батарейные системы хранения энергии, шунтирующие реакторы, измерительные трансформаторы тока и системы непрерывного контроля трансформаторного оборудования.

– (Вклад соискателя – соискатель принимал участие в разработке технических решений, схемных и конструктивных параметров, а также в подготовке патентной документации.)

Первое выносимое на защиту положение диссертационной работы обосновано в статьях 1 и 5, посвящённых разработке и анализу клиентоориентированных автоматизированных систем расчёта и проектирования трансформаторного оборудования.

Второе положение доказано в статьях 2 и 6, в которых исследуются методы сушки и прессования твёрдой изоляции силовых трансформаторов и их влияние на увеличение жизненного цикла оборудования.

Третье положение подтверждено результатами, представленными в статьях 3 и 4, посвящённых снижению шума и вибрации шунтирующих реакторов за счёт конструктивных и материаловедческих решений.

Полученные патенты и свидетельства непосредственно связаны с практической реализацией научных результатов диссертации и подтверждают их прикладную значимость.

Все публикации удовлетворяют требованиям пункта 5-1 «Правил присуждения учёных степеней».