

2. Наилучшие практики в области энергоэффективности в странах Евразийского экономического союза. URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/002/lfan5r7cr2m54nk2d2b7a4dg6tij6t6k.pdf> (дата обращения 27.02.2026).

3. Курбанов Р.А., Гаджиев А.А. Унификация правового регулирования ТЭК как инструмент евразийской интеграции // Экономика. Право. Общество. 2024. Т 9. №1 (37). С.174-178.

4. Научные концепции развития российского законодательства: монография / В.Р. Авхадеев, Е.Г. Азарова, Л.В. Андриченко и др. Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации. 8-е изд., перераб. и доп. Москва: Норма, 2024. 656 с.

УДК 621.311.22:621.181

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЁТА ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОГО ВАКУУМА ТУРБОАГРЕГАТОВ ТЭЦ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ТЭК СТРАН СНГ И ЕАЭС

Овсянник Анатолий Васильевич, Вальченко Николай Адамович, Никулина Татьяна
Николаевна

ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь
v_n_a@tut.by

Аннотация: Статья посвящена совершенствованию нормативно-методического обеспечения расчёта экономически оптимального вакуума турбоагрегатов ТЭЦ. Обоснована необходимость перехода к стандартизации оптимизационных критериев. Показана роль цифровых двойников и импортонезависимого программного обеспечения в обеспечении технологического суверенитета ТЭК стран СНГ и ЕАЭС.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль; вакуум в конденсаторе; система оборотного водоснабжения; экономическая оптимизация; стандартизация; нормативное регулирование; технологический суверенитет; цифровой двойник; ЕАЭС; энергоэффективность.

REGULATORY AND METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR CALCULATING THE ECONOMICALLY OPTIMAL VACUUM OF CHP TURBINE UNITS BASED ON MATHEMATICAL MODELING OF THE CIRCULATING WATER SYSTEM AS A TOOL FOR TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY OF THE FUEL AND ENERGY SECTOR IN THE CIS AND EAEU COUNTRIES

Abstract: The paper focuses on improving the regulatory framework for determining the economically optimal condenser vacuum in CHP plants. The study substantiates the standardization of optimization criteria and highlights the role of digital twins and import-independent software in strengthening technological sovereignty within the CIS and EAEU energy sector.

Keywords: combined heat and power plant; condenser vacuum; circulating water system; economic optimization; standardization; regulatory framework; technological sovereignty; digital twin; EAEU; energy efficiency.

К важным задачам современной теплоэнергетики относится обеспечение экономичной и надежной работы действующих теплоэлектроцентралей, использующих для охлаждения технологических потоков систему оборотного водоснабжения. В этой связи актуальным представляется анализ технологических процессов, протекающих в системах оборотного водоснабжения, проводимый с целью выявления возможностей повышения эффективности работы как отдельных узлов, так и системы оборотного водоснабжения в целом.

Одной из проблем снижения выработки электроэнергии электростанциями, снижения их установленной мощности и ухудшения экологичности является недостаточное охлаждение конденсаторов энергоблоков, вследствие неэффективности работы систем оборотного водоснабжения (СОВС).

Известно, что повышение температуры охлаждаемой воды на 1 °С, подаваемой в конденсаторы на ТЭС приводит к снижению вакуума в них на 0,5%, что равноценно снижению мощности турбины на 0,4% [1]. В связи с этим возникает необходимость определить факторы, влияющие на эксплуатационные свойства каждого из элементов СОВС и разработать комплекс методов, позволяющих повысить выработку электроэнергии за счет их совершенствования.

Гидравлическое совершенство системы определяет не только ее пропускную способность, но и протекание тепловых процессов, а также эксплуатационные расходы (затраты электроэнергии на перекачку воды). Анализ работы циркуляционной системы должен выполняться комплексно, так как все перечисленные факторы взаимосвязаны, и не всегда влияние одного из них на эффективность работы системы можно выделить в чистом виде.

Анализ системы оборотного водоснабжения ТЭЦ предполагает оценку эффективности работы всей системы, начиная от источника воды, через технологические процессы и до сброса очищенных стоков. Диагностика включает проверку технического состояния оборудования, расход воды в

различных технологических звеньях, качество очищенной воды и соответствие законодательным требованиям.

Изучение современного состояния вопроса [2-6] показывает, что решение проблемы повышения эффективности функционирования СОВС возможно только при комплексном рассмотрении всех элементов оборотной системы, и комплексном анализе особенностей их эксплуатации.

Актуальность и постановка проблемы. Повышение устойчивости и конкурентоспособности топливно-энергетического комплекса государств СНГ и ЕАЭС в современных условиях напрямую связано с развитием собственных инженерных методик, нормативных решений и цифровых инструментов расчёта технологических режимов энергетических объектов. Одним из ключевых факторов экономичности ТЭЦ является уровень вакуума в конденсаторах турбин, который оказывает прямое влияние на мощность, удельный расход топлива и себестоимость выработки электроэнергии.

Формирование вакуума в конденсаторе определяется не только характеристиками турбины, но и режимами работы системы оборотного водоснабжения (СОВ): градиент, циркуляционных насосов, трубопроводов, регулирующей арматуры. При этом на практике управление вакуумом зачастую осуществляется эмпирически, без комплексной экономической оптимизации.

В условиях реализации политики технологического суверенитета особую актуальность приобретает разработка отечественных математических моделей и нормативных методик, позволяющих:

- определить экономически обоснованный вакуум;
- обеспечить снижение удельных затрат топлива;
- оптимизировать энергопотребление собственных нужд;
- сформировать цифровые инструменты расчёта, независимые от зарубежного программного обеспечения.

Экономическое значение вакуума и его нормативная обусловленность. Снижение давления в конденсаторе турбины приводит к увеличению располагаемого теплоперепада и росту мощности турбоагрегата. В общем виде изменение мощности можно представить зависимостью:

$$\Delta N_T = f(p_k),$$

где ΔN_T – изменение мощности турбоагрегата; p_k – давление конденсации пара.

Одновременно повышение расхода охлаждающей воды для улучшения вакуума увеличивает энергопотребление циркуляционных насосов:

$$N_{\text{нас}} = \rho g Q H / \eta,$$

где $N_{\text{нас}}$ – энергопотребление циркуляционных насосов; ρ – плотность охлаждающей жидкости; g – ускорение свободного падения; Q – производительность циркуляционных насосов; H – напор циркуляционных насосов; η – к.п.д. циркуляционных насосов.

Таким образом, возникает противоречие между приростом мощности турбины и ростом затрат электроэнергии на собственные нужды.

Экономически обоснованный вакуум определяется из условия максимизации чистого энергетического эффекта:

$$\max(\Delta N_T - \Delta N_{\text{нас}}).$$

В действующих нормативных документах РБ отсутствует методика определения именно экономически оптимального вакуума. Это создаёт необходимость совершенствования нормативной базы и унификации подходов в рамках СНГ и ЕАЭС.

Экономико-правовые аспекты и необходимость стандартизации. Разработка подобных моделей имеет прямое отношение к совершенствованию стандартов и правил эксплуатации ТЭЦ. В рамках государств СНГ и ЕАЭС целесообразно:

1. Актуализировать методики теплового расчёта конденсаторов с учётом экономической оптимизации.
2. Разработать единые рекомендации по определению рационального вакуума.
3. Включить в отраслевые стандарты требования к цифровым расчётным моделям.
4. Закрепить необходимость использования верифицированных отечественных алгоритмов.

Это позволит:

- снизить зависимость от импортных программных комплексов;
- обеспечить единый подход к оценке эффективности;
- повысить инвестиционную привлекательность модернизации СОВ.

Цифровые двойники и импортнезависимое программное обеспечение. Современный этап развития энергетики предполагает переход к цифровым двойникам энергетических объектов. Математическая модель СОВ может стать основой цифрового двойника охлаждающего контура ТЭЦ.

Цифровой двойник позволяет:

- моделировать режимы работы в реальном времени;
- прогнозировать изменение вакуума при изменении погодных условий;
- оптимизировать работу насосов;
- оценивать экономический эффект до внедрения изменений.

Важнейшим условием технологического суверенитета является создание отечественных программных решений.

Формирование таких инструментов в рамках СНГ и ЕАЭС создаёт предпосылки для: унификации подходов; экспорта цифровых энергетических решений; укрепления научно-технического потенциала регионов.

Реализация предложенного подхода позволит:

1. Определить экономически обоснованный вакуум для конкретной ТЭЦ.
2. Снизить удельный расход топлива.
3. Оптимизировать энергопотребление циркуляционных насосов.
4. Сформировать нормативно закреплённую методику расчёта.
5. Создать основу для цифрового двойника системы охлаждения.
6. Обеспечить развитие импортонезависимых расчётных инструментов.

Заключение. Определение экономически обоснованного вакуума является комплексной инженерно-экономической задачей, требующей системного математического моделирования элементов системы оборотного водоснабжения. Разработка нормативно ориентированных отечественных моделей способствует повышению энергетической эффективности ТЭЦ, укреплению технологического суверенитета государств СНГ и ЕАЭС и формированию конкурентоспособных цифровых решений для энергетики.

Источники

1. Бадриев, А.И. Повышение эффективности охлаждения воды путем рационального распределения потоков в башенных градирнях: Дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Казань, 2021. С.177.

2. Батухтин, А.Г. Проблемы эксплуатации градирен в оборотном цикле ТЭЦ и пути их решения / А.Г. Батухтин, Д.Е. Сверкунов, Н.В. Акулова // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Чита. 2021. С. 77-83.

3. Засыпкина, Д.С. Повышение эффективности системы оборотного водоснабжения ТЭЦ / Д.С. Засыпкина, Р.Н. Валиев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы VII Национальной научно-практической конференции. Казань. 2022. С. 684-686.

4. Хомяков, Д.В. Моделирование охладительных устройств ТЭЦ / Д.В. Хомяков, А.М. Акинфьев // Наука молодых – будущее России. сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск. 2021. С. 300-303.

5. Харламова, А.Э. Реконструкция системы оборотного водоснабжения ТЭЦ с применением высокоэффективных водоохладительных устройств / А.Э. Харламова, А.Н. Андросов // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования. Материалы XI Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. Под общей редакцией Т.В. Золиной. Астрахань. 2022. С. 53-55.

6. Технический отчет. Гарантийные испытания башенной градирни №2 Гомельской ТЭЦ-2 после реконструкции ее водораспределительной системы // ОАО «Белэнергоремналадка» филиал «Инженерный центр», Минск, 2023. С. 41.

УДК 347

КАЧЕСТВО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ)

Варламова Алла Николаевна
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
allavarlamova@mail.ru

Аннотация: Важнейший вопрос для эффективного функционирования центров обработки данных – качество энергоснабжения. В настоящее время несмотря на то, что в законодательстве есть определение качества электрической энергии, а также приняты стандарты, устанавливающие требования к качеству энергоснабжения, на практике качество энергоснабжения далеко не всегда удовлетворяет требования потребителей, для которых надежность и бесперебойность являются принципиально важными аспектами деятельности. К таким потребителям, работающим на крайне чувствительном оборудовании, относятся центры обработки данных (ЦОДы). В статье будут рассмотрены проблемы регулирования качества энергоснабжения.

Ключевые слова: центры обработки данных, ЦОДы, энергоснабжение, качество электроэнергии, цифровизация, стандарты.

QUALITY OF ELECTRIC POWER SUPPLY TO CONSUMERS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION: A DATA CENTER CASE STUDY

Alla Nikolaevna Varlamova
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
allavarlamova@mail.ru