

ОТЗЫВ

официального оппонента Ледуховского Григория Васильевича
на диссертацию Бадриева Айрата Ирековича
**«Повышение эффективности охлаждения воды путем рационального
распределения потоков в башенных градирнях»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты»

Актуальность темы диссертации

Системы технического водоснабжения тепловых электрических станций (ТЭС) являются одним из важнейших элементов, оказывающих влияние на эффективность процесса производства электрической энергии. Как правило, более 90-93% суммарного расхода технической воды на ТЭС – это охлаждающая вода конденсаторов паровых турбин (циркуляционная вода), температура и расход которой определяют значение давления отработавшего пара в конденсаторе, а значит и показатели тепловой экономичности турбоагрегатов.

Башенные градирни составляют основу аппаратного обеспечения систем технического водоснабжения многих ТЭС: являются основными охладителями в оборотных системах технического водоснабжения, а также в ряде случаев используются как барьерные охладители (включаемые в схему по условиям ирригации и рыбоводства) перед сбросом охлаждающей воды в природный водоем в системах прямоточного технического водоснабжения. Охлаждающая способность градирни напрямую определяет уровень тепловой экономичности турбинного оборудования, а также часто оказывается критическим параметром с точки зрения ограничений располагаемой мощности турбоагрегатов ТЭС. Кроме того, учитывая масштабность таких сооружений как градирни, их ремонты составляют значительную статью в эксплуатационных затратах электростанции. Таким образом, вопросы совершенствования эксплуатации башенных градирен являются остро актуальными для энергетической отрасли.

Актуальность темы диссертации обеспечена также имеющим место в предшествующие годы трендом на ужесточение российского законодательства в сфере энергетики. Так, Сводом правил по проектированию ТЭС 2007 года (СП ТЭС-2007) фактически наложен запрет на проектирование прямоточных систем технического водоснабжения; предпочтение должно отдаваться оборотным системам с гидроохладителями, наиболее часто применяемыми из которых являются градирни.

Вопросам совершенствования градирен посвящены не только труды известных ученых-гидротехников и теплоэнергетиков (В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьева, Л.Д. Бермана, В.А. Гладкова, В.А. Калатузова, В.А. Трубникова, Е.А. Сухова, Р.Е. Гельфанд и др.), но и целых научных институтов (ВНИИ ВОДГЕО, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, Союзводоканалпроект, Атомпроект и др.). При этом остаются мало разработанными вопросы обеспечения эксплуатационной эффективности градирен при изменении условий работы. Во многом это связано с высокой степенью неравномерности полей скоростей, давлений и температур теплоносителей в градирне, которая

(неравномерность), в свою очередь, обусловлена масштабностью аппарата. Развитие методов вычислительной гидродинамики и тепломассообмена, а также реализующих эти методы специализированных программных средств делают возможным решение задачи расчета параметров сред в градирне с учетом этой неравномерности. Однако при таком подходе все равно остаются необходимыми опоры на экспериментальные данные и проверка получаемых решений на непротиворечивость базовым физическим закономерностям.

В диссертации Бадриева А.И. решается задача определения параметров работы градирни с учетом неравномерности потоков теплоносителей. При этом применяются как методы регрессионного и корреляционного анализа, так и методы вычислительной гидродинамики и тепломассообмена. Результаты сопоставляются с экспериментальными данными. Таким образом, рассматриваемая диссертация актуальна не только с точки зрения выбранного объекта исследований, но и с точки зрения методологии решения задачи.

Общая характеристика и оценка содержания диссертации

Для рассмотрения представлены следующие материалы: диссертация на 177 страницах машинописного текста формата А4, состоящая из введения, пяти глав, выводов (заключения), списка используемой литературы (188 наименований) и 5 приложений; автореферат на 16 страницах машинописного текста формата А5.

Во введении обоснована актуальность, формализованы объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи работы, заявлена научная новизна и практическая ценность результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснованы применяемые в работе методы исследования и достоверность полученных результатов, отмечен личный вклад автора в получение результатов, приведены сведения об апробации результатов работы, а также данные о публикациях по теме диссертации.

В главе 1 диссертации представлены результаты проведенного автором анализа отечественных и зарубежных источников в области исследования неравномерности потоков теплоносителей в градирнях и её влияния на эффективность охлаждения воды.

Приведены данные о применяемых в энергетике России градирнях, показана роль башенных градирен. Проведен анализ условий работы градирен, указаны основные эксплуатационные нарушения. Приведены основы отечественной и зарубежных методик расчета охлаждающей способности градирен и построения их рабочих характеристик. Выполнен анализ причин снижения эффективности башенных градирен (разрушения конструктивных элементов башни, оросителя, водораспределительных устройств, биологического и иного обрастания элементов, ошибок проектирования и эксплуатации и др). При этом выявлено, что практически все эти причины приводят к повышению неравномерности потоков теплоносителей в градирне, в результате эффективность охлаждения воды уменьшается. В соответствии с этим проведен анализ опубликованных данных о степени неравномерности потоков воды и воздуха в градирнях и её влиянии на процесс охлаждения воды. Из результатов проведенного обзора опубликованных данных следуют поставленные автором задачи исследования.

Глава 2 диссертации посвящена исследованию неравномерности воздушного потока в башенных градирнях. Статистически доказано существование нормального закона распределения по скоростям воздуха в секциях градирни. Приведены результаты обследования технического состояния и натуральных экспериментальных исследований распределения воздуха в градирне БГ-2600 Набережночелнинской ТЭЦ, а также данные других авторов по градирне БГ-1600 Петрозаводской ТЭЦ. Проведен анализ факторов, влияющих на неравномерность распределения воздуха по сечению градирни. При этом дополнительно проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке КГЭУ. Получена обобщенная аэродинамическая характеристика башенной градирни.

По материалу главы 2 имеются следующие замечания и вопросы:

– По результатам лабораторного эксперимента (п. 2.3.5) получен сравнительно низкий коэффициент корреляции (0,51) между скоростью воздуха и плотностью орошения. Автор объясняет такой результат некими «сложностями проведения такого эксперимента», никак их не конкретизируя и не раскрывая. Чем же все-таки объясняется полученный разброс, ведь в промышленном эксперименте на градирне БГ-2600, который априори сложнее организовать и провести (хотя бы в силу существенно больших размеров объекта), обнаружена значительно более сильная связь с коэффициентом корреляции 0,75?

– Судя по рис. 2.8, увеличение коэффициента аэродинамического сопротивления приводит к уменьшению скорости воздуха в градирне. Почему при этом полученное автором обобщенное уравнение аэродинамической характеристики – формула (26) – демонстрирует обратную зависимость? Аналогичное расхождение по влиянию скорости ветра – формулы (22) и (26) – можно объяснить переходом от уравнения регрессии второго порядка к линейному регрессионному уравнению.

– В выводах по главе 2 указано, что ветровая характеристика градирни внедрена на Набережночелнинской ТЭЦ и используется для регулирования положения воздухопроводных окон по секциям в зависимости от условий. О какой характеристике здесь идет речь? Как эта характеристика выглядит и каким образом используется в эксплуатации?

В главе 3 диссертации представлены результаты исследования неравномерности плотности орошения в башенных градирнях. Дан теоретический анализ распределения плотности орошения с подтверждением того, что и в этом случае наблюдается нормальный закон распределения. Выполнена теоретическая оценка влияния неравномерности плотности орошения на процесс испарения воды в градирне. Приведены некоторые обобщающие данные натуральных экспериментальных исследований по плотности орошения в градирне БГ-2600 Набережночелнинской ТЭЦ, а также данные других авторов по градирне БГ-1600 Петрозаводской ТЭЦ. Изложены результаты лабораторных исследований охлаждающей способности градирни на модели КГЭУ.

По материалу главы 3 имеются следующие замечания и вопросы:

– В абзаце перед уравнением (34) указано значение коэффициента корреляции 0,82, а в абзаце сразу после этого уравнения – 0,78, причем дана ссылка на уравнение (35), что, по-видимому, также ошибочно;

– На стр. 85 автор заявляет, что «в лабораторных условиях неравномерности практически отсутствуют»; при этом экспериментальные зависимости перепада температур воды в аппарате от плотности орошения для реальной градирни БГ-2600 (формула (34)) и лабораторной установки КГЭУ (формула (37)) имеют идентичные значения коэффициента корреляции (0,82 и 0,81 соответственно), но разброс относительно среднего для лабораторных данных на рис. 3.10 даже больше, чем для данных промышленного эксперимента на рис. 3.8. При этом ранее автор установил, что неравномерность плотности орошения на промышленной градирне достигает 33 %. Как это можно объяснить?

В главе 4 диссертации охарактеризована методика корректировки рабочих характеристик башенных градирен в условиях неравномерности распределения воды и воздуха. Приведен применяемый в настоящее время порядок расчета нормативных рабочих характеристик башенных градирен, а также предложенный автором алгоритм расчета этих характеристик с учетом неравномерности распределения воды и воздуха по сечению градирни. Даны примеры построения рабочих характеристик градирен БГ-2600 Набережночелнинской ТЭЦ и БГ-1600 Петрозаводской ТЭЦ.

Недостатком главы 4 является отсутствие указаний на то, каким образом и при каких условиях следует получать экспериментальные данные, необходимые для корректировки по авторской методике нормативных рабочих характеристик градирен. Безразмерная дисперсия, полученная автором для градирен БГ-2600 (стр. 93) и БГ-1600 (стр. 102), отличается более чем в 15 (!) раз. Какое значение следует принимать в каждом конкретном случае для других градирен? Если для этого требуется провести масштабные экспериментальные исследования, аналогичные проведенным автором, то рабочие характеристики градирни можно построить и непосредственно по экспериментальным данным; в чем тогда ценность разработанной автором методики корректировки нормативных рабочих характеристик?

Глава 5 посвящена разработке мероприятий по повышению эффективности башенных градирен в условиях неравномерности потоков воды и воздуха. Применительно к условиям работы Набережночелнинской ТЭЦ перечислены организационно-технические мероприятия, направленные на совершенствование работы градирни путем устранения выявленных дефектов. Предложена система рационального управления расходом воздуха в секциях градирни. Для обоснования технического решения выполнено численное моделирование процесса охлаждения воды в секции градирни БГ-2600 средствами ANSYS, установлены оптимальные значения скорости воздуха, обеспечивающие максимальное охлаждение воды. Предложена структура, реализован подбор оборудования и разработано алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления поворотными щитами воздухопроводных окон градирни.

По главе 5 имеется замечание: выбор RNG k - ε -модели при проведении численных экспериментов средствами ANSYS Fluent практически не обоснован.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертации.

Научная новизна диссертации.

Проведен комплекс расчетно-экспериментальных исследований, в ходе которых получены следующие новые научные результаты:

а) экспериментально подтверждено, что распределения по скоростям воздуха и плотности орошения в башенных градирнях испарительного типа подчиняются нормальному закону;

б) установлены количественные характеристики неравномерности скорости воздуха и плотности орошения по горизонтальному сечению башни градирен, а также факторы, определяющие эту неравномерность;

в) получена статистическая зависимость скорости воздуха в секции градирни от плотности орошения, скорости ветра и коэффициента аэродинамического сопротивления;

г) показана связь между параметрами неравномерности потоков воды и воздуха и охлаждающей способностью градирни;

д) средствами вычислительной гидрогазодинамики и тепломассообмена разработана имитационная модель секции башенной градирни, позволяющая рассчитывать поля скорости и давления воздуха, а также температуры воды при изменении внешних условий.

Практическая значимость диссертации состоит в следующем:

1. Предложена методика, позволяющая перестроить нормативную рабочую характеристику башенной градирни с учетом фактических показателей неравномерности распределения по скоростям воздуха и плотности орошения.

2. Получены рабочие характеристики башенных градирен БГ-2600 и БГ-1600, учитывающие их фактическое техническое состояние.

3. Разработан алгоритм и программа автоматического регулирования положения поворотных щитов воздухопроводных окон градирни БГ-2600 с целью обеспечения эффективности работы при изменении теплогидравлического режима и метеорологических условий.

Практическая значимость работы подтверждается тем, что ее результаты внедрены на промышленных предприятиях Российской Федерации.

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»:

- *в части формулы специальности* – «...работы по совершенствованию действующих и обоснованию новых типов и конструкций основного и вспомогательного оборудования тепловых электрических станций»;

- *в части области исследования:*

- пункту 2: «Исследование и математическое моделирование процессов, протекающих в агрегатах, системах и общем цикле тепловых электростанций»;

- пункту 3: «...исследование, совершенствование действующих ... технологий производства электрической энергии и тепла, ... способов снижения влияния работы тепловых электростанций на окружающую среду»;

- пункту 6: «Разработка вопросов эксплуатации систем и оборудования тепловых электростанций».

Замечания и вопросы по диссертации

Кроме замечаний и вопросов, указанных при анализе содержания диссертации, необходимо отметить наличие ряда общих замечаний и вопросов:

– *Представляется не вполне удачной компоновка части материала диссертации. Так, в первом же разделе главы 2 (стр. 44) появляется упоминание экспериментальных данных по скорости воздуха в секциях градирни, однако сведений об объекте и методике проведения этих исследований не приведено. Если эти данные получены для градирен БГ-2600 Набережночелнинской ТЭЦ или БГ-1600 Петрозаводской ТЭЦ, то целесообразно было бы изменить порядок п. 2.1 и 2.2 диссертации. Аналогично и по главе 3: не ясно, что за экспериментальные данные используются в п. 3.1.*

– *В диссертации отсутствуют сводные таблицы окончательных результатов измерения параметров в опытах в рамках экспериментальных исследований технологических процессов в градирне БГ-2600 Набережночелнинской ТЭЦ, а также конкретные условия каждого опыта. Не представлены в явном виде и используемые в работе данные по градирне БГ-1600 Петрозаводской ТЭЦ. В целом экспериментальный материал представлен разрозненно в разных разделах диссертации, преимущественно в виде рисунков. Такое представление существенно затрудняет анализ эмпирической информации.*

– *Расчет экономического эффекта (п. 5.4) выполнен, по мнению автора, для двух режимов градирни: нормативного и фактического (с учетом неравномерности потоков). В действительности же рассматриваются два технических состояния градирни: исправное (которому должна соответствовать нормативная рабочая характеристика) и фактическое, которое, как показано в предшествующих главах диссертации, нельзя охарактеризовать как исправное. Представляется не вполне корректным относить ухудшение охладительной способности градирни на неравномерность потоков, ведь неравномерность присутствует и при исправном состоянии градирни. Очевидно, здесь нужно говорить об уменьшении эффективности градирни ввиду наличия дефектов. По этой причине и вывод главы 5, касающийся экономического эффекта, не вполне обоснован: указанный эффект (24 млн. руб/год) отражает переход от фактической рабочей характеристики градирни к нормативной рабочей характеристике. При этом не доказано, что применяя предложенные автором мероприятия, этой нормативной характеристики вообще можно достичь.*

Общая оценка диссертации

Наличие указанных частных замечаний не меняет общей положительной оценки диссертации.

Тема диссертации актуальна. Значимость рассматриваемой проблемы для экономики страны в целом обусловлена тем, что сформулированные в работе задачи имеют общесистемный характер, а результаты их решения являются тиражируемыми.

Диссертация обладает научной новизной, а полученные результаты имеют практическое значение. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Диссертация и автореферат написаны с использованием терминологии, принятой в рассматриваемой отрасли науки и техники, обладают внутренним единством содержания, раскрывают положения, выносимые на защиту, а также содержат сведения о практиче-

ском использовании результатов. Личный вклад автора в получение результатов работы не вызывает сомнений.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, следует признать обоснованными и достоверными.

Публикации в открытой печати раскрывают сущность работы, количество публикаций по списку ВАК удовлетворяет требованиям по кандидатским диссертациям. Работа прошла апробацию на научно-технических конференциях различного уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Бадриева Айрата Ирековича «Повышение эффективности охлаждения воды путем рационального распределения потоков в башенных градирнях» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно обоснованные технические решения, обеспечивающие повышение эффективности эксплуатации башенных градирен испарительного типа на ТЭС, что имеет существенное значение для развития энергетической отрасли страны.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842 в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Бадриев Айрат Ирекович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Официальный оппонент:

заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции»

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет

имени В.И. Ленина»,

доктор технических наук, доцент

153003, г. Иваново,

ул. Рабфаковская, д. 34

тел. (4932) 269-696, 269-931,

e-mail: admin@tes.ispu.ru, сайт: <http://ispu.ru/>


16.08.21г

Ледуховский

Григорий Васильевич

Подпись Ледуховского Г.В. заверяю:

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет

имени В.И. Ленина»,

доктор технических наук, профессор

153003, г. Иваново,

ул. Рабфаковская, д. 34

тел. (4932) 269-696, 269-931



Тютиков

Владимир Валентинович