

ОТЗЫВ

официального оппонента Лаптева Анатолия Григорьевича
на диссертацию **Барочкина Юрия Евгеньевича**
**«Совершенствование технологических систем ТЭС
с применением кавитационно-струйного деаэратора»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты»

Актуальность темы диссертации. Технологии термической деаэрации воды занимают одно из центральных мест среди средств обеспечения нормативных показателей водно-химического режима ТЭС и других энергетических объектов. Деаэрации подвергают многие теплоносители ТЭС: питательную воду котлов, добавочную воду цикла, подпиточную воду тепловых сетей, турбинный конденсат и конденсаты некоторых подогревателей, а также ряд специальных теплоносителей. Аппаратное оформление технологий термической деаэрации не ограничивается применением собственно деаэраторов (повышенного давления, атмосферных или вакуумных), этот процесс реализуется также в конденсаторах турбин, корпусах регенеративных и сетевых подогревателей турбин и др.

Процессы деаэрации в основных технологических системах ТЭС в целом изучены и отлажены. При этом наиболее часто (например, при деаэрации питательной воды, добавочной воды котлов, подпитки теплосети) речь идет о струйно-барботажных или насадочных деаэраторах, обладающих сравнительно высокими показателями массообменной эффективности. Однако в составе ТЭС используются технологические системы, в которых применение таких деаэраторов невозможно по разным причинам. Здесь задача обеспечения качественной деаэрации воды является

по-прежнему актуальной. Автор диссертации обращается к решению этой задачи применительно к конденсационным установкам турбин, системам охлаждения турбогенераторов и системам возврата конденсата пара внешних потребителей.

В качестве основы обсуждаемых технических решений рассматривается кавитационно-струйный деаэратор, относящийся к деаэраторам перегретой воды, для работы которых не требуется подача в аппарат греющего пара. Для оценки эффективности технических решений необходима соответствующая математическая модель, связывающая массообменные характеристики деаэратора с его конструктивными характеристиками, а также параметрами схемы его включения и режима работы. С учетом этого в перечень решаемых автором задач добавлена разработка математического описания процессов деаэрации воды в рассматриваемых условиях, что само по себе является актуальной исследовательской задачей.

Таким образом, задачи, решаемые в диссертации Барочкина Ю.Е., актуальны как в теоретическом, так и в практическом плане, и имеют значение для ТЭС и других теплоэнергетических объектов.

Общая характеристика работы

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав, заключения и списка литературы 178 источников.

В введении подробно представлена актуальность темы исследования. Анализируются преимущества и недостатки используемых на ТЭС деаэраторов. Отмечена роль кавитационно-струйного деаэратора. Дана степень разработанности темы диссертационной работы. Сформулированы цель и задачи для ее достижения. Так же в введении представлена научная новизна, теоретическая значимость работы и практическая значимость исследования. Отмечены методы научных исследований.

В первой главе выполнен обзор работ по теме исследования. Отмечены роль и особенности процесса деаэрации воды. Рассмотрены конструкции деаэраторов, принципы и режимы работы. Представлены данные по эффективности деаэрации воды. Описаны подходы и математические модели вихревых и закрученных течений. Сделана постановка задачи исследования.

Основные полученные результаты в диссертационной работе Барочкина Ю.Е. изложены в **главах 2 – 4**, где представлено численное решение явлений переноса в активной зоне кавитационного–струйного деаэратора с применением программного комплекса Flow Vision. Установлено влияние на эффективность деаэрации воды гидродинамических и конструктивных характеристик, а также режима подачи исходной воды и отвода пара. Сделаны выводы о наиболее рациональных режимах работы деаэратора. На основе термодинамического подхода представлена математическая модель деаэрации воды и записанная эффективность массопередачи (деаэрации) в критериальной форме. Сделано сравнение экспериментальных данных различных авторов с результатами расчета по модели. Сделаны выводы об адекватности математической модели и выполнено уточнение путем введения параметров идентификации в математическом описании. В результате предложена математическая модель процесса деаэрации воды с учетом начального эффекта и результатов численного исследования в программном комплексе FlowVision и известных методов расчета гидродинамических характеристик технических устройств, позволяющая определять эффективность массопередачи при деаэрации воды с учетом показателей работы тракта отсоса пара. Разработаны технические решения по повышению эффективности процесса деаэрации воды в технических схемах ТЭС. Модернизация заключается в включении в схему кавитационного–струйного деаэратора на Йошкар – Олинской ТЭЦ-2. Выполнены исследования параметров данного технического решения на ТЭС-2 по

теплофикационному режиму сетевой воды. Установлено повышение ряда показателей после внедрения данного деаэратора. Выполнено тиражирование полученных результатов на другие ТЭЦ.

Научную новизну работы составляют:

1) математическая модель процесса деаэрации воды в устройствах, работающих без подачи греющего теплоносителя при вскипании попадающей в зону разрежения перегретой воды, отличающаяся наличием единственного параметра идентификации, определенного по экспериментальным данным.

Обоснованность данной модели обусловлена классическим подходом к её разработке в рамках теории подобия процессов теплообмена. Важно, что точность и адекватность модели оценена автором не только для разных типов деаэраторов перегретой воды, но и по экспериментальным данным, полученным разными исследователями. Кроме того, работа модели проверена на тех экспериментальных данных, которые не привлекались в качестве выборочной совокупности при разработке критериальной зависимости;

2) разработанная в программном комплексе FlowVision имитационная модель активной зоны кавитационно-струйного деаэратора, позволяющая определять влияющие на эффективность деаэрации воды характеристики потоков воды и парогазовой смеси при изменении конструкции элементов, режима подачи исходной воды и отвода выпара.

Модель построена в рамках апробированного для решения подобных задач подхода. Наиболее существенное допущение касается замены газовой фазы, в реальном процессе генерируемой непосредственно в жидкой фазе, сторонним потоком несжимаемой жидкости, по свойствам эквивалентной водяному пару. Правомерность этого допущения представляется не вполне очевидной, однако без него задача вряд ли бы имела решение при существующих вычислительных возможностях гидродинамических программных пакетов. Косвенно допустимость принятого упрощения

подтверждается схожестью картин течения, наблюдаемых в модели и в реальных условиях;

3) полученная на основе синтеза моделей по пп. 1) и 2), а также известных методов расчета гидродинамических режимов технических систем математическая модель кавитационно-струйного деаэратора, позволяющая определять эффект деаэрации для заданного теплогидравлического режима с учетом показателей работы тракта отсоса выпара.

Обоснованность модели определяется корректным применением методов вычислительной газодинамики при построении в пакете FlowVision дополнительной модели участка активной зоны кавитационно-струйного деаэратора вблизи точки отсоса выпара из него. Полученное в итоге математическое описание деаэратора пригодно для решения поставленных в диссертации практических задач оценки эффективности технических решений по совершенствованию деаэрации в отдельных системах ТЭС.

Практическую значимость работы составляют:

1) предложенные и обоснованные технические решения по совершенствованию деаэрации в отдельных системах ТЭС;

2) полученные с применением разработанных математических моделей и привлечением экспериментальных данных результаты исследований эффективности использования кавитационного-струйного деаэратора в рассматриваемых системах;

3) собственно имитационная модель кавитационно-струйного деаэратора в пакете FlowVision, пригодная для проведения исследований аппарата в режимах, отличных от рассмотренных в диссертации.

Все указанные результаты в диссертации имеют подробные описания, обоснованные соответствующими расчетами и, в ряде случаев, сопоставлением с экспериментальными данными.

Обоснованность и достоверность основных положений диссертации, выносимых на защиту, обеспечена использованием апробированных методов и программных средств моделирования теплоэнергетических и гидродинамических процессов; совпадением в пределах погрешности экспериментальных данных и результатов расчёта показателей работы исследуемых объектов; согласованностью результатов диссертационной работы с опубликованными данными других авторов.

Вопросы и замечания по диссертации:

1. В качестве основы для разработки математической модели деаэрации воды (п. 3.1 диссертации) выбран «термодинамический подход». Более того, по существу, использован подход равновесной термодинамики. Известно, что в равновесной термодинамике рассматриваются системы, находящиеся в равновесии, и термодинамические параметры имеют одинаковые значения в разных точках системы. В кавитационно-струйном деаэраторе в каждой точке рабочего объема статическое давление, которое определяется автором, имеет свое значение, отличное от давления в других точках. Очевидно, эта система находится в состоянии, далеком от равновесия. Встает вопрос, можно ли для такой системы использовать подходы и методы равновесной термодинамики?

2. Работа деаэратора рассматриваемого типа основана на том, что при понижении статического давления в потоке жидкости возможны ее закипание и связанная с ним десорбция кислорода. При этом справедливо и обратное: при торможении потока происходит восстановление статического давления, и становится возможным переход выделившихся газов обратно в воду (абсорбция). В диссертации изучается поле статических давлений в жидкости, то есть имеются все данные для изучения указанного аспекта, однако никаких рассуждений на этот счет в работе нет.

3. Использование пакета FlowVision позволяет определить области со статическим давлением выше и ниже давления насыщения при данной

температуре жидкости. Очевидным направлением использования такого инструмента является исследование процессов кавитации и деаэрации при различных профилях канала в активной зоне деаэратора. Такой подход позволил бы существенно расширить прогностические возможности модели и метода расчета, что, к сожалению, не представлено в работе.

4. Почему бы не рассмотреть вертикальное расположение активной зоны кавитационно-струйного деаэратора? Ведь при этом будут не значимы обсуждаемые в главе 2 диссертации эффекты деформации потока под действием силы тяжести.

5. Результаты расчетов по математическим моделям обычно представляются в виде сплошных линий (кривых) а не точек (рис 3.4, 3.6 и др.). Точками – обозначают экспериментальные данные. Поэтому представление расчетов в виде точек затрудняет анализ полученных результатов и их сравнения с опытными данными.

Заключение по работе

Несмотря на сделанные частные замечания, следует признать достоверными и обоснованными научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации. Научная новизна и практическая значимость результатов работы не вызывают сомнений.

Поставленные в работе задачи решены, цель достигнута. Личный вклад автора в получение результатов работы также очевиден. Результаты работы опубликованы в открытой печати и отражают содержание работы.

Диссертационная работа Барочкина Юрия Евгеньевича «Совершенствование технологических систем ТЭС с применением кавитационно-струйного деаэратора», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных

автором исследований разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения, обеспечивающие повышение эффективности деаэрации теплоносителя в отдельных системах ТЭС, что имеет существенное значение для развития теплоэнергетической отрасли страны.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, в том числе пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (в соответствии с постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. с принятыми изменениями и дополнениями), а ее автор Барочкин Юрий Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Официальный оппонент,
Заведующий кафедрой
«Технология воды и топлива»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»,
доктор технических наук, профессор
Специальность докторской диссертационной
работы 05.17.08- Процессы и аппараты
химической технологии

Лаптев Анатолий Григорьевич

«08» сентября 2020 г.

Адрес: Красносельская, д. 51,
Телефон: (812) 475-4444, E-mail: tyt_kgeu@mail.ru

Подпись А.Г. Лаптева удостоверяю:

Владимир Свечков
Должность



Машкин С.А.
ФИО (полностью)