

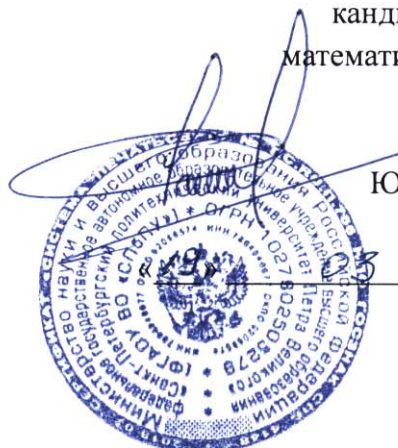


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,  
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251  
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080  
office@spbstu.ru

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
кандидат физико-  
математических наук



Ю.В. ФОМИН

2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» на диссертационную работу Голубева Андрея Вячеславовича на тему «Переходные процессы в гидравлических системах энергетических объектов в напорном и безнапорном режимах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

### **Актуальность темы исследования**

Исследование водопроводящих гидротехнических сооружений приобретает особо важную задачу, т.к. напрямую связано с энергоресурсосбережением. В целом это требует рассмотрение целого комплекса различных водопроводящих сооружений, включая водоводы, трубы, лотки и др. Анализ движения жидкости в водопроводящих сооружениях является весьма актуальным, поскольку необходимо рассмотрение как стационарных, так и нестационарных режимов. Все это

сопровождается переходными процессами, характеризующиеся неустановившимся движением в гидравлической и пневматической частях системы. Впоследствии это приводит к повреждениям частей гидроагрегатов и водопроводящих сооружений.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 139 страниц машинописного текста, в том числе 8 таблиц и 64 рисунка. Список литературы включает 108 источников.

Во **введении** приводится актуальность и разработанность темы исследования, определены цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, защищаемые положения, а также данные по степени достоверности и апробации результатов.

В **первой** главе проведен обзор по тепловым и атомным станциям, использующим в технологических процессах большие объемы циркулирующей воды. Приведен ряд примеров систем охлаждения по расходам перекачиваемой воды, размерам оборудования и сооружений. Рассмотрены конструкции конденсаторов крупных тепловых турбин. Выполнен анализ существующих методов расчета переходных процессов крупных насосных станций.

Во **второй** главе разработана математическая модель расчетов переходных процессов в системах охлаждения. Определены общие требования к программам расчетов переходных процессов в системах охлаждения тепловых и атомных станций. Реализована методика расчета переходного процесса на участках водовода. Решена задача обеспечения устойчивости расчетного алгоритма гидроудара на участках с регулирующей арматурой при малых открытиях регулирующего органа. Рассмотрены три модели формирования граничного условия через расходную характеристику и через переменный коэффициент сопротивления. Выполненный анализ трех

альтернативных моделей для описания потерь напора в запорной арматуре показал, что модель расчета потерь напора через переменный коэффициент сопротивления и произведение скоростных напоров в предыдущий и текущий моменты времени обеспечивает устойчивость расчетного алгоритма в отличие от расчета потерь напора.

В **третьей** главе рассмотрены особенности процессов пусков в системах охлаждения с водосливом. На основании анализа условий протекания переходных процессов пуска насосных агрегатов в системах охлаждения предложена система ограничений по параметрам процесса, обеспечивающая эффективное и безопасное их осуществление. Среди ограничений выделены: длительность выхода агрегата на номинальную частоту вращения; работа насоса на пониженных и повышенных напорах; отжатие уровня в отводящем трубопроводе и ограничение амплитуды колебаний уровня в сливной камере. Сформулированы состав ограничений для процесса пуска в системах охлаждения. По каждому ограничению определены условия, которые можно варьировать при проектировании.

В **четвертой** главе проведены исследования особенностей процессов пусков в блочных системах охлаждения с градирней. Предложена классификация действующих ограничений по условиям протекания переходного процесса, показана специфика их протекания в системах охлаждения с градирней в верхнем бьефе и без затвора на напорном патрубке насоса. Выполненные исследования переходных процессов позволили сформулировать состав ограничений для процесса пуска в системах охлаждения.

В **пятой** главе приведены исследования переходных процессов пусков в системах с градирней и затвора. Показана специфика протекания переходных процессов в системах охлаждения с градирней в верхнем бьефе и с оперативным затвором по трассе. Выявлено, что наличие затвора оказывает существенное влияние на технологию осуществления пусков и их динамику в зависимости от места его установки.

В **заключении** приводятся основные выводы по результатам выполненной работы.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных результатов исследований основана на применении фундаментальных положений гидравлики неустановившегося движения, актуальных характеристиках оборудования, описываемых граничными условиями, сопоставимостью результатов, полученных численными методами с результатами натурных исследований, проанализированных и обобщенных автором.

### **Научная новизна**

Научная новизна результатов работы включает разработку методики оценки процессов пусков в системах водоподачи крупных энергетических объектов; алгоритма расчета гидромеханических переходных процессов в крупных теплообменниках; предложенной системы ограничений и варьируемых параметров, определяемых при проектировании; выявленных условий протекания переходных процессов.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертации**

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработаны оригинальные алгоритмы расчета переходных процессов в гидравлической и пневматической составляющих комплексной системы; обосновании комплекса учитываемых процессов и определяющих их факторов, которые обеспечивают адекватное описание переходных процессов в водоводах и оборудовании различных по составу сооружений.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты работы могут быть напрямую использованы проектными организациями по назначению параметров сооружений и оборудования, а также технологии режимов пусков в насосных системах водоподачи.

## **Значимость полученных автором результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Работа имеет значимость для науки и практики водопроводящих гидротехнических сооружений. Результаты работы напрямую способствуют улучшению работы систем водоподдачи к турбинам гидроэлектростанций и гидравлическим системам охлаждения. Полученные технические решения могут позволить решить ряд проблем, связанных с переходными процессами, вызывающим значительные динамические нагрузки на элементы проточной части гидроагрегатов и водопроводящих гидротехнических сооружений.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Разработанную методику оценки процессов пусков в системах водоподдачи энергетических объектов, алгоритмы расчета гидромеханических переходных процессов в крупных теплообменниках, комплекс технических требований по составу учитываемых процессов и описывающих их характеристик, систему ограничений и параметров оборудования рекомендуется применять в гидравлических системах охлаждения тепловых и атомных электростанций.

## **Замечания по работе**

1. Использованная в работе терминология – не является общепринятой для систем водоснабжения электрических станций. Системы циркуляционного водоснабжения делятся на обратную, а не «замкнутую», прямоточную, а не «разомкнутую» и смешанную. Приведённые описания и схемы водоснабжения для «разомкнутой» может быть и в обратной, и в прямоточной, и в смешанной системах водоснабжения.

2. В работе не приведены основные уравнения гидравлического удара, к которым записаны граничные условия. Не понятна схема рассмотрения трубопровода – целиком со сквозным счётом или «кусочно» между местными сопротивлениями и оборудованием. Приведённые граничные условия не

являются универсальными, а относятся к конкретной решённой задаче. То же относится к графикам и данным в главах 2-5. Следовало бы привести общие схемы решения, а потом показать апробацию решения для различных объектов. «Первым» граничным условием следует указывать насос, для которого были даны подробные описания сложности моделирования запуска и останова насоса. Рекомендуется автору использовать более универсальное граничное условие на выходе.

3. Схемы, приведённые в работе (например, в 3-й главе, 5-й главе) относятся к какой-то конкретной задаче с прямоточной системой водоснабжения. Следует использовать какую-то более универсальную схему, либо указать, что модель построена на «таком-то» примере, но это лишает модель универсальности, о которой упоминает автор. В главе 5 отсутствует схема для АЭС с градирней (оборотная система водоснабжения) аналогичная главе 3 (прямоточной схеме).

4. В работе полностью отсутствует верификация и валидация методики и модели, следовательно, указание на возможность использования, предлагаемых методики и модели в качестве универсальных – не обосновано.

5. Регулирующая арматура является местным сопротивлением. Специально выделять её не следует. В разделе 2.2 отсутствует описание учёта потерь напора по длине и на местных сопротивлениях, на что была ссылка в разделе 2.1. Схема, использованная в разделе 2.8, представленная на рисунке 2.14 представляется не вполне обоснованной. В формуле 2.5 – ошибка. Отсутствуют ссылки в тексте. Стоит ошибка по ссылке. Работа плохо структурирована.

### **Заключение**

Анализ диссертационной работы позволяет заключить, что диссертация Голубева Андрея Вячеславовича на тему «Переходные процессы в гидравлических системах энергетических объектов в напорном и безнапорном режимах» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной,

теоретической и практической значимостью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Голубев Андрей Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" «18» марта 2024 г. Протокол заседания № 5.

И.о. директора

Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого"

доктор технических наук, доцент



Козинец

Галина Леонидовна



Адрес:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого"

E-mail: [office@spbstu.ru](mailto:office@spbstu.ru)

Тел.: +7 (812) 297 20 95