

На правах рукописи

Ащеулов Александр Витальевич

**Методология проектирования  
гидравлических подъемных механизмов  
разводных мостов**

Специальности: 05.05.04 – Дорожные, строительные и  
подъемно-транспортные машины

05.02.02 – Машиноведение, системы приводов  
и детали машин

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2007 г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Кузин Эдуард Николаевич

доктор технических наук, профессор Карнаухов Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор Королев Владимир Александрович

Ведущая организация:

ОАО «Трансмост» (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится 16 октября 2007 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.24 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, корп. 1, ауд. 41.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке  
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор

Смирнов В.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** С развитием транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербурга, особенно его портов, существенно возросла роль разводных мостов на судоходной реке Неве, по которой проходит федеральная транспортная речная магистраль – «Волго-Балтийский водный путь им. В.И. Ленина». Ежегодно в период навигации по ней курсирует 7000 грузовых судов, которые перевозят 9–11 млн. тонн грузов. В 2005 году грузооборот речного транспорта оценивался в 10–15 млрд. рублей, что составляет 10...15% всего грузооборота петербургского порта. Правительством Санкт-Петербурга принято постановление №410 от 18.04.2006 г., которым утверждена «Концепция развития и приведения в нормативное состояние дорожных сооружений Санкт-Петербурга до 2015 г.».

Исследование подъемных механизмов разводных мостов имеет важное государственное значение, и с учетом того, что комплексные исследования в этой области не проводились сорок лет, работа является актуальной.

За сорок лет в разных странах построено и реконструировано большое количество разводных мостов, только в Санкт-Петербурге выполнено двенадцать крупных проектов. Подъемные механизмы невских разводных мостов, начиная с петербургского моста Александра Невского (1965 г.), выполняются на основе объемных гидравлических приводов возвратно-поступательного движения. Основы проектирования, заложенные инженерами и учеными в начале второй половины XX столетия, нуждаются в корректировке и совершенствовании. Доказательством этого являются участвовавшие внеплановые ремонты относительно новых разводных мостов, длительные сроки сдачи новых объектов в эксплуатацию. В период доводки и на начальной стадии эксплуатации разводных мостов дорабатываются схемные решения приводов механизмов, что свидетельствует об ошибках, допущенных на этапе проектирования.

Работа представляется к защите по специальностям 05.05.04 и 05.02.02, потому что подъемные механизмы разводных мостов, согласно руководству по проектированию, относятся к категории механизмов грузоподъемных машин.

**Цель работы** – разработка принципов и способов проектирования гидравлических подъемных механизмов разводных мостов с высокими показателями безотказности, позволяющих сократить объем и сроки доводочных операций, пусконаладочных работ, минимизировать отказы в эксплуатации (особенно в начальный период) и повысить экономическую эффективность инвестиций.

Указанная цель определила следующие **основные задачи исследования:**

1. Обобщить сорокалетний опыт создания и эксплуатации, провести анализ и выявить тенденции развития гидравлических подъемных механизмов отечественных и

зарубежных разводных мостов раскрывающегося типа.

2. Систематизировать основные расчетные и конструкторские алгоритмы проектирования для реального перехода к системному автоматизированному проектированию в рамках CALS-технологии действующего предприятия.
3. Разработать методологические подходы к нормированию безотказности подъемных механизмов разводных мостов, адаптировать и довести до практического использования современный метод расчета безотказности гидроприводов исследуемых объектов.
4. Разработать, проверить и внедрить в практику проектирования систему имитационного моделирования процессов движения и режимов работы гидравлических механизмов разводных мостов раскрывающегося типа в реальном времени, взаимодействующих с окружающей средой.
5. Провести обработку и анализ архива данных системы мониторинга одного из разводных мостов и на основе этих результатов разработать общие подходы к созданию методологии систем диагностики невских разводных мостов с целью прогнозирования и предупреждения их отказов.
6. Разработать методику и выполнить по ней практические расчеты экономического обоснования схемно-технических и конструкторских решений, направленных на повышение безотказности гидроприводов подъемных механизмов разводных мостов.

**На защиту выносятся** следующие результаты исследований, полученные лично автором и обладающие **научной новизной**:

1. тенденции развития современных конструкций гидравлических подъемных механизмов разводных мостов раскрывающегося типа, которые позволили установить несовершенство существующей системы проектирования, и как следствие, разработать новую концепцию и методологию проектирования механизмов с высокими показателями безотказности;
2. комплекс моделей (текстовых, графических, математических и др.) гидравлических устройств, позволивший систематизировать электронный документооборот конструкторской документации, расчетные и конструкторские алгоритмы, построить САПР объемных гидроприводов;
3. новые модели деревьев отказов гидравлических устройств и узлов, зависимости вероятности безотказной работы сложных гидравлических приводов подъемных механизмов от интенсивностей отказов гидрооборудования, которые позволили выполнить структурный синтез схемных решений, выбрать гидрооборудование и технологии изготовления трубопроводов по критерию максимальной безотказности;
4. математическая модель, адекватно описывающая динамику движения разводного моста

при разводке, позволившая выполнить имитационное моделирование режимов работы механизмов. Это позволило оптимизировать управляющие и конструктивные параметры привода, алгоритмы управления разгоном крыла по критерию нормативных значений коэффициента динамичности и выявить положительное влияние нерастворенного воздуха в гидросистеме на динамику разгона при существующем релейном алгоритме управления;

5. экспериментальные зависимости составляющих внешних нагрузок в функции угла разводки моста, что позволило определить загруженность механизмов, выявить и устранить ряд негативных явлений в работе подъемных механизмов мостов, например таких, как неустойчивость процесса наводки и разрыв потока;
6. зависимость вероятности безотказной работы системы невских мостов от вероятности безотказной работы условного крыла моста и зависимость ущербов от времени простоя судов из-за отказов системы мостов. Методика экономического обоснования технических решений по конструкциям подъемных механизмов с учетом ожидаемых потерь (рисков). Результаты исследования критерия дисконтированного денежного потока при ремонте, реконструкции, новом строительстве подъемных механизмов.

**Практическая ценность работы.** Внедрение результатов исследований:

- снижает стоимость и сроки создания гидравлических подъемных механизмов;
- обеспечивает высокую безотказность гидравлических подъемных механизмов;
- позволяет проектным организациям разрабатывать обоснования инвестиций, проекты и рабочую документацию на качественно новом уровне, в стандарте трехмерного проектирования, с использованием динамического моделирования и оперативных данных систем мониторинга;
- дает возможность эксплуатирующей организации выполнять обработку архивных данных систем мониторинга с целью определения и сравнения расчетных и эксплуатационных нагрузок на разводные пролеты мостов и при необходимости пересматривать проектные нормы;
- помогает надзорным организациям создавать новые нормативные документы и правила расчетов и конструирования гидравлических подъемных механизмов разводных мостов;
- позволяет собственнику моста провести страхование на случай повреждения механизмов.

**Реализация работы.** Все вновь разработанные методы, компьютерные программы, методики и алгоритмы внедрены в практику проектирования и производства гидравлических приводов ООО «Научно-техническое предприятие Гидропривод» г. Санкт-Петербург.

Под руководством автора выполнены следующие проекты в Санкт-Петербурге:

- реконструкция гидравлических подъемных механизмов моста А. Невского в 2000-2001 гг.;

- реконструкция гидравлических подъемных механизмов Троицкого моста в 2001-2002 гг.;
- модернизация гидравлических подъемных механизмов и механизмов подклинки Большого Охтинского моста в 2003-2006 гг.;
- ремонт гидравлических подъемных механизмов Володарского моста в 2004-2005 гг.;
- аванпроект реконструкции разводных механизмов моста Лейтенанта Шмидта в 2004 г.;
- обоснование инвестиций по новому разводному мосту через остров Серный в 2004 г.;
- рабочий проект подъемного берегового моста в порту Усть-Луга в 2005 г.;
- аванпроект реконструкции малых разводных мостов на реке Средней Невке в 2006 г.

Основные научные результаты работы используются в учебном курсе «Гидравлика и гидропневмопривод» механико-машиностроительного факультета СПбГПУ и курсах повышения квалификации механиков СПб ГУП «Мостотрест». По тематике диссертации под руководством автора защищено 2 магистерских диссертации и 9 дипломных проектов.

**Достоверность** научных положений, рекомендаций и выводов базируется на результатах выполненных исследований, которые внедрены в практику проектирования и реализованы в конструкциях действующих объектов. Задачи исследования и результаты расчетов по всем главам диссертации сравнивались с данными систем мониторинга действующих объектов. Значения вероятностей безотказной работы гидравлических механизмов разводных мостов соответствуют среднестатистическим данным по отказам системы невских разводных мостов. В экономических расчетах использованы статистические данные о прохождении судов из официальных источников ГБУ «Волго-Балт». Научные положения базируются на апробированных на практике теориях надежности, динамики машин, автоматического управления, экономики. Расчеты проводились в лицензионных пакетах прикладных программ Model Vision Studium, Statistica, MS Excel, Mathcad. 2D и 3D-проектирование выполнялось в пакетах Компас, Autocad, SolidWorks, ProEngineer.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были доложены, обсуждены и одобрены на научно-технических конференциях, в том числе и международных: «Интерстроймех-2001» (г. Санкт-Петербург); «Современные гидроприводы в российской промышленности» (г. Санкт-Петербург, 2002 г.); «Современное состояние и перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, 2003 г.); интернет-конференция on-line «Эффективность строительных и промышленных процессов» (СПбГПУ, г. Санкт-Петербург, и Политехнический институт, г. Ченстохов, Польша, 2003 г.); «Промышленная гидравлика и пневматика» (г. Киев, Украина, 2004 г.); «XIII Неделя науки СПбГПУ» (г. Санкт-Петербург, 2004 г.); «Совершенствование учебного процесса механико-машиностроительного факультета СПбГПУ» (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); «Разводные

мосты Санкт-Петербурга» (СПбГПУ, г. Санкт-Петербург, 2005 г.); «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); II Санкт-Петербургский международный форум «Мир мостов» (2005 г.); «Инновационная система Санкт-Петербурга – стратегический потенциал России» (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); «CALS-технологии в науке, образовании, производстве» (БГТУ, г. Санкт-Петербург, 2006 г.); «Интерстроймех-2006» (МГСУ, г. Москва, 2006 г.); «Энергетический форум» (ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, г. Санкт-Петербург, 2006 г.).

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в монографии и 50 научных статьях, в том числе пяти статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; получено два патента и решение на выдачу патента; а также в ФГУП «ВНТИЦ» зарегистрирован научно-технический отчет о НИОКР государственного заказа в пяти книгах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения; шести глав, включающих выводы; заключения; списка использованной литературы; приложений (отдельный том). Содержит 378 страниц машинописного текста (127 рисунков, 38 таблиц, 235 наименований использованной литературы).

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи исследования, даны ссылки на труды основоположников направлений исследования, представлены основные научные результаты и итоги практического внедрения.

**В первой главе** представлены результаты анализа конструкций гидравлических подъемных механизмов разводных мостов, созданных за последние сорок лет в России (в основном в Санкт-Петербурге) и других странах, также изложены существующие методы их проектирования. Сведения о мостах оформлены в виде базы данных.

В основу анализа положены работы ученых-мостостроителей Г.К. Евграфова, В.И. Крыжановского, Г.И. Богданова, руководство по проектированию Ленгипротрансмост (ОАО «Трансмост») 1991 года (разделы по механизмам в редакции В.П. Курцева), Интернет-информация западных фирм, в том числе Bosch Rexroth Group. Основополагающими работами по объемным гидроприводам строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин рассматривались труды ВНИИСтройдормаш и ВНИИЗеммаш под редакцией Э.Н. Кузина, В.А. Васильченко и А.И. Тархова. Требования к современным конструкциям гидравлических подъемных механизмов формулировались на основе российских и международных стандартов, а также в трудах авторитетных ученых Т.М. Башты, Г.М. Иванова, С.А. Ермакова, Б.Л. Коробочкина, В.К. Свешникова, И.С. Шумилова, С.В. Каверзина и Л.С. Ушакова.

Установлено, что в настоящее время строятся в основном мосты раскрывающегося типа (свыше 80%) и они оснащаются гидравлическими подъемными механизмами возвратно-поступательного движения (почти 100%). В Санкт-Петербурге на основном фарватере из мостов раскрывающегося типа остались не оснащенные гидравлическим подъемным механизмом только два моста – Дворцовый и Биржевой. По оценкам автора, в мире построено примерно пятьсот разводных мостов раскрывающегося типа в сорока странах. Россия стоит на пятом месте по количеству таких мостов после США, Германии, Голландии и Англии. В диссертации приведены полные технические характеристики и установлена эволюционная зависимость внедрения на невских мостах гидравлических подъемных механизмов.

Выявлены следующие особенности конструкций гидравлических подъемных механизмов петербургских разводных мостов раскрывающегося типа: расположение гидроцилиндров в хвостовой части разводного пролета, а у пролетов больших размеров – в хвостовой и передней частях разводного пролета; использование двухштоковых гидроцилиндров; применение закрытого контура циркуляции рабочей жидкости; высокая степень резервирования гидрооборудования, включая значительные запасы рабочей жидкости в резервных баках; релейный способ управления скоростью движения; время разводки: 2 минуты для мостов на основном фарватере и 4 минуты для мостов резервного фарватера; мониторинг основных параметров.

Раскрыты следующие особенности конструкций гидравлических подъемных механизмов зарубежных разводных мостов раскрывающегося типа: переднее, под разводным пролетом расположение гидроцилиндров с одним штоком, у которых рабочей является поршневая полость; открытая схема циркуляции рабочей жидкости; высокий уровень автоматизации процессов, пропорциональное электрическое и гидравлическое, объемное и дроссельное управление скоростью движения разводного пролета; короткое время разводки мостов (60...90 с) и высокое быстродействие гидропривода и систем управления; блочное построение гидросистемы, применение однотипных блоков; резервирование гидрооборудования, кроме гидролиний и баков; повышенные требования к чистоте рабочей жидкости, использование экологически чистых рабочих жидкостей; трубопроводы из нержавеющей материалов с четырехкратным запасом прочности; переменное давление настройки предохранительных клапанов в процессе разводки-наводки крыла.

Выполнен анализ кинематических схем механизмов основных петербургских мостов, который установил практически одинаковую схему на большинстве сооружений. На Большом Охтинском мосту выявлен «эффект защемления» объемов рабочей жидкости в магистралях, который экспериментально исследован в пятой главе. Использование

однотипного гидрооборудования и практически одинаковые размеры кинематической схемы позволили определить линейную зависимость количества установленных в механизмах гидроцилиндров от площади поверхности разводного пролета.

По результатам исследований в первой главе определены следующие регрессивные тенденции в развитии отечественных подъемных механизмов разводных мостов:

- по относительно новым мостам (с 1990 года) в эксплуатации участились ремонты с корректировкой схемных решений привода;
- проектирование осуществляется без выполнения расчетов на безотказность, отсутствуют проектные нормы по безотказности. В то же время оценка функционирования разводных мостов на федеральном фарватере осуществляется количеством отказов за навигацию;
- сократились сроки и интенсифицировались процессы проектирования, а отсутствие готовых технических решений требует совершенствования методов проектирования;
- развитие строительных технологий и недостаточное внимание к системам уравнивания и подъемным механизмам привели к повышенной нагруженности подъемных механизмов и снижению по ним запасов прочности, а также к увеличению времени цикла разводки и наводки мостов. При проектировании не выполняются поверочные динамические расчеты по оптимизации режимов работы механизмов;
- установленные на мостах системы мониторинга содержат ценную информацию о фактических режимах работы подъемных механизмов, но проектирование новых систем осуществляется без использования этого ценного материала из-за отсутствия алгоритмов, программ и методик обработки;
- принятие технических решений на стадии обоснования инвестиций осуществляется без учета ожидаемых потерь (рисков), связанных с надежностью механизмов.

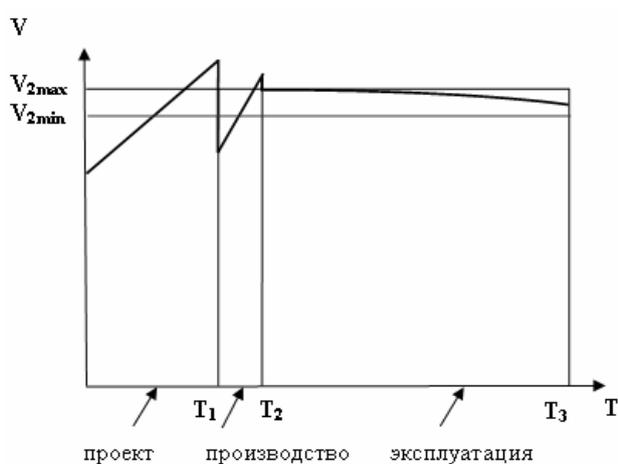


Рис. 1. Теоретические зависимости вероятности безотказной работы приводов машин от времени этапов жизненного цикла изделий

жизненного цикла изделия. В отличие от известной зависимости предполагается

Эти тенденции позволили сделать вывод о том, что существующая система проектирования гидравлических подъемных механизмов разводных мостов устарела и нуждается в совершенствовании.

Предложена новая концепция совершенствования методов проектирования, которая представлена на рис. 1 зависимостью вероятности безотказной работы от времени

существенно сократить период проектирования, доводки, пусконаладки изделия и вероятность отказов в начальный период эксплуатации. Для разводных мостов и других уникальных машин эти условия являются определяющими.

Новая концепция определила цели и задачи исследования, структуру и содержание работы.

**Во второй главе** выполнена систематизация расчетных (CAE) и конструкторских (CAD) алгоритмов системы автоматизированного проектирования объемных гидроприводов в рамках создания CALS-технологии действующего предприятия, которое, согласно принятой концепции, поставляет для монтажа приводы механизмов в готовом виде.

Исследования проведены с учетом требований ЕСКД к машиностроительной конструкторской документации, по алгоритмам современных отечественных стандартов информационных технологий автоматизированных систем проектирования (стадия 1 «Формирование требований» и стадия 2 «Разработка концепции»), на основе научных работ В.Г. Колосова, В.Г. Соловьева, Я.А. Сироткина, И.П. Норенкова, Е.М. Кудрявцева и С.А. Ермакова.

Согласно классификации, системе проектирования присвоен идентификационный номер САПР 31957507.1.82.2.3.3.4.1.2, где 31957507 – ОКПО предприятия; 1 – машиностроение; 82 – объемные гидроприводы; 2 – средняя сложность объекта проектирования; 3 – уровень автоматизации; 3 – комплексность этапов проектирования; 4 – комбинированный характер выпускаемых документов; 1 – малая производительность; 2 – двухуровневая система технического обеспечения.

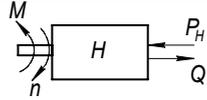
Систематизация алгоритмов и построение САПР стали возможными после формирования новых комплексов текстовых, графических, математических и параметрических моделей стандартного гидрооборудования (серийно выпускаемого).

В качестве примера в таблице 1 представлен перечень моделей для насоса.

Такой комплекс моделей позволяет построить САПР гидроприводов, общая блок-схема которой представлена на рис. 2. Реализация системы выполнена с использованием двадцати пакетов прикладных программ и ряда нестандартных расчетных программ. В диссертации представлена полная схема САПР. Выбор программного обеспечения осуществлялся на основе экспертного анализа его распространения на различных машиностроительных предприятиях и путем проведения экспериментов по выполнению в различных пакетах одних и тех же видов конструкторской документации.

В поверочные расчеты (PP) дополнительно включены расчет безотказности, динамический расчет, расчет массы, сметный расчет и экономический расчет.

Перечень моделей одного стандартного гидравлического компонента (на примере насоса)

№ п/п	Наименование модели	Пример обозначения	Назначение	Место создания/ хранения
1.	Общая модель	3D	CAD	Pro/E
2.	Чертеж общего вида	2D	CAD	Pro/E
3.	Спецификация	СП	CAD	Pro/E
4.	Принципиальная схема Г3		CAD/CAPM/ CAQ	Компас
5.	Схема соединений Г4		CAPM	Компас
6.	Модель дерева отказов ДО		CAE	Компас
7.	Структурная схема динамических расчетов		CAE	Компас
8.	Математическая модель	$\begin{cases} Q_n = \gamma q_n^{\max} \omega - K_{UT}^n \cdot P_n \\ \gamma = \frac{x_n}{x_n^{\max}} \\ M_n = \gamma \cdot q_n^{\max} (P_n - P_n) + \\ + K_{\omega}^n \cdot \omega + K_p^n  P_n - P_n  + M_{но} \end{cases}$	CAE	MathCAD/ MS Access
9.	Основной параметр – рабочий объем	$q_n^{\max}$	CAE	MS Access
10.	Вероятность отказа	$Q_{OT}^H$	CAE	MS Access
11.	Мах перемещ. регулятора	$x_n^{\max}$	CAE	MS Access
12.	Коэффициент объемных потерь	$K_{UT}^n$	CAE	MS Access
13.	Коэффициент гидромех. потерь, зависящих от скорости	$K_{\omega}^n$	CAE	MS Access
14.	Коэффициент гидромех. потерь, зависящих от давления	$K_p^n$	CAE	MS Access
15.	Момент сухого трения	$M_{но}$	CAE	MS Access
16.	Допустимое давление	$P_H^{\max}$	CAE	MS Access
17.	Оптимальная вязкость	$\nu$	CAE	MS Access
18.	Тонкость фильтрации	$\mu$	CAE	MS Access
19.	Масса	$m$	ERP/SCM	Ac-GiDro
20.	Цена приобретения	$\mathcal{C}$	ERP/CRM	Ac-GiDro
21.	Завод-изготовитель		ERP/SCM	Ac-GiDro
22.	Код ТН ВЕД		ERP/SCM	Ac-GiDro
23.	Дата	4.12.05	ERP	во всех ППП
24.	Ф.И.О.	Ащеулов А.В.	ERP	во всех ППП

Составлены перечни библиотек стандартного гидрооборудования и вспомогательного оборудования, а также комплектных гидроприводов, насосных станций, гидроблоков управления, трубопроводов. Впервые предложен алгоритм создания электронного приложения технического задания, который на основе моделирования движений 3D-моделей позволяет визуализировать геометрию и кинематику механизма.

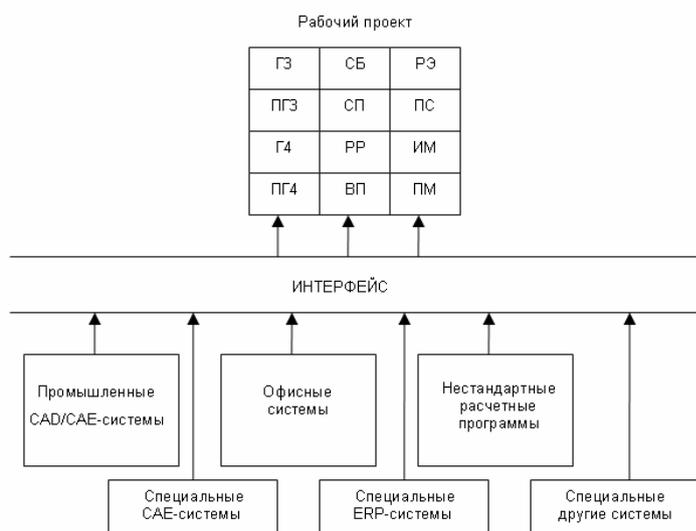


Рис. 2. Общая блок-схема САПР гидроприводов

2,4 раза, по насосным станциям в 2 раза, по принципиальным схемам в 4 раза. На примере выполненного рабочего проекта гидравлических подъемных механизмов берегового паромного моста для порта в Усть-Луге можно прогнозировать срок разработки проектов 1...2 месяца вместо 6...8 месяцев.

**В третьей главе** выполнено прогнозирование безотказности на стадии проектирования гидравлических подъемных механизмов разводных мостов методом деревьев отказов. Тем самым продолжены исследования по оценке функциональной надежности гидросистем, которые выполнялись по строительно-дорожным машинам Т.А. Сырициным, по авиационным и общемашиностроительным системам Т.Н. Баштой. Но задача решена другим методом – это логико-вероятностный метод деревьев отказов. Его отличие от метода структурных схем и комплексного метода, где вместе со структурными схемами используются графы деревьев событий, в том, что анализ осуществляется в направлении от результирующего события-отказа системы к возможным причинам его возникновения, акцент делается не на индуктивную, а на дедуктивную логику.

Основные положения соответствуют теории надежности В.В. Болотина, а по методу деревьев отказов использован опыт ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева по гидротехническим сооружениям, изложенный в работах Д.В. Стефанишина.

Разработаны приемы адаптации метода к составлению моделей безотказности по принципиальным гидравлическим схемам: начало построения («корень») дерева отказов; разбиение сложной системы на отдельные подсистемы; параллельное соединение устройств (на примере фильтров); моделирование гидравлических блоков; моделирование отказов сложных гидравлических устройств (гидрораспределитель); моделирование специфических событий-следствий (загрязнение рабочей жидкости). В качестве примера на рис. 3 представлена модель двух параллельных напорных фильтров.

Процесс исследования был совмещен с производственными процессами конструкторского бюро ООО «НТП Гидропривод» (СПб), на котором внедрялась автоматизированная система проектирования. Переходный период (70% рабочих мест) составил 1,5 года. Трудоемкость проектирования сократилась по гидроблокам управления в

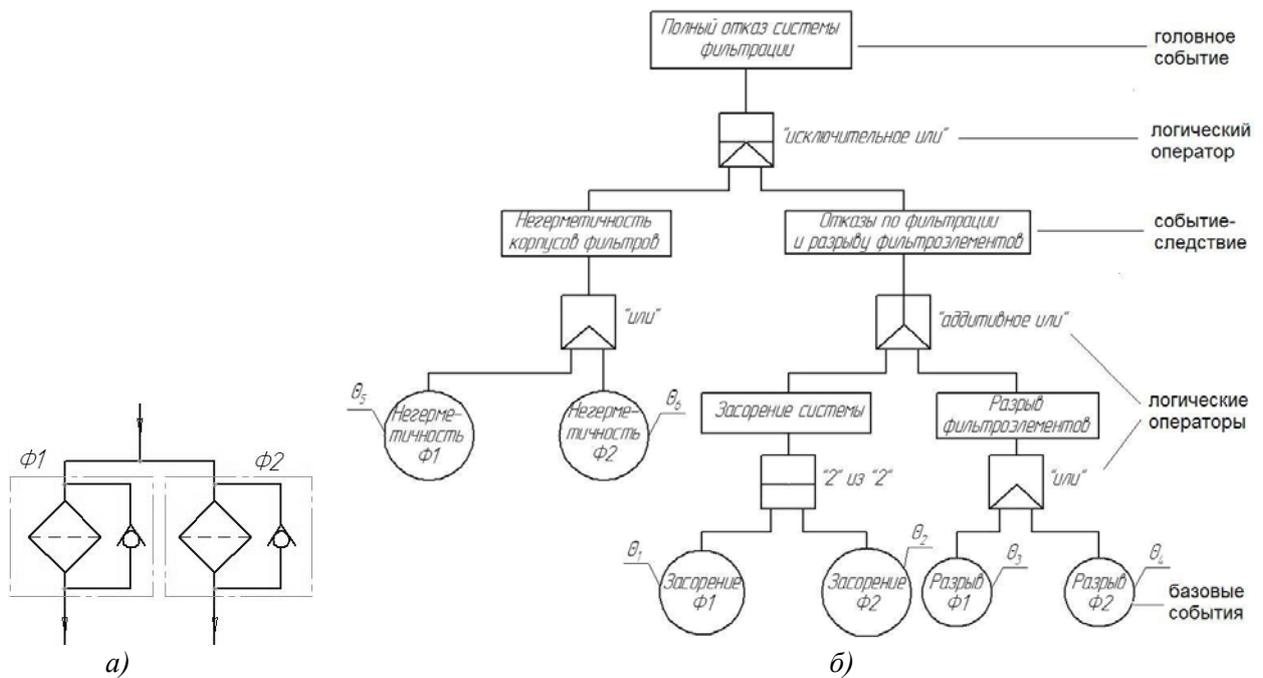


Рис. 3. Деревья отказов двух параллельных фильтров

Перечень логических операторов и соответствующие им расчетные формулы вероятностей отказов систематизированы в таблице 2. Логические операторы «блокировка» и «запрет» предлагаются специально для моделирования отказов гидросистем, так как позволяют описать более рационально ряд событий, например, переход от первичных к вторичным отказам или исключение части отказов устройств в реверсивном приводе.

В работе построены новые диаграммы Парето и схема Исикава, которые помогают моделированию этим методом.

Расчет вероятностей по деревьям отказов выполняется в MS Excel.

Исходными данными для расчетов являются вероятности отказов стандартного гидрооборудования. Используется распределение отказов по экспоненциальному закону:

$$\begin{cases} V_{2/o} + Q_{2/o} = 1 \\ Q_{2/o} = 1 - \exp(-\lambda_{2/o} t) \end{cases}$$

где  $V_{2/o}$  – вероятность безотказной работы гидрооборудования;  $Q_{2/o}$  – вероятность отказа гидрооборудования;  $\lambda_{2/o}$  – интенсивность отказа гидрооборудования;  $t$  – время прогноза.

Анализ интенсивностей отказов гидрооборудования показал, что данные справочников машиностроителя можно использовать с повышающим коэффициентом (по Б.С. Сотскову), равным не менее  $K_\lambda = 100$ , но лучше ориентироваться на свежие данные заводоизготовителей.

Символы-операторы, используемые при построении диаграмм деревьев отказов

№ п/п	Обознач.	Наименование	Расчетные формулы для оценки вероятностей отказов-следствий	Причинно-следственные отношения, выражаемые оператором
1		"или"	$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i)$ , где $Q_i$ – вероятность $i$ -го события; $n$ – общее количество $i$ -х независимых исходных событий	Событие-следствие имеет место, если происходит хотя бы одно из $n$ независимых исходных событий
2		"исключительное или"	$Q = Q_1(1 - Q_2) + Q_2(1 - Q_1)$ , где $Q_1, Q_2$ – вероятности исходных взаимоисключающихся событий	Событие-следствие имеет место, если происходит любое из двух исходных независимых событий, но не одновременно
3		"аддитивное или"	$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$ , где $Q_i$ – вероятность $i$ -го события; $n$ – общее количество $i$ -х независимых несовместных исходных событий; если $\sum_{i=1}^n Q_i > 1$ , то $Q = 1$	Событие-следствие имеет место, если происходит любое из двух исходных событий в том числе и одновременно
4		"или с приоритетом"	$Q = Q_i^* + \sum_{i=1}^{n-2} (1 - Q_i^*) Q_{i+1}^* \dots + (1 - Q_{n-1}^*) Q_n$ , где $Q_i^* = \frac{Q_i Q(P_j)}{\sum_{j=i}^n Q_j Q(P_j)} \left( 1 - \prod_{j=i}^n (1 - Q_j) \right)$ , $Q(P_j) = \frac{Q_j}{\sum_{j=i}^n Q_j}$ , $Q_i, Q_j$ – вероятности $i$ -го и $j$ -го событий; $n$ – общее количество $i$ -х независимых исходных событий; $j = i, \dots, n$	Событие-следствие имеет место, если происходит любое из $n$ независимых событий, но с приоритетом слева направо
5		"и"	$Q = \prod_{i=1}^n Q_i$ , где $Q_i$ – вероятность реализации $i$ -го события; $n$ – общее количество $i$ -х независимых исходных событий	Событие-следствие имеет место, если происходят все $n$ независимые исходные события
6		"m из n"	$Q_{m/n} = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) \right) \left( 1 - \prod_{i=2}^{n-1} (1 - Q_i) \right)_{\max} \dots \left( 1 - \prod_{j=i}^{n-i+1} (1 - Q_j) \right)_{\max} \dots Q_{n, \max}$ , где вероятности $i$ -го и $j$ -го событий; $n$ – общее количество $i$ -х независимых исходных событий; $j = i, \dots, n$ ; индекс max относится к максимальному из возможных значений вероятностей	Событие-следствие имеет место, если происходят $m$ из $n$ независимых исходных событий
7		"и с приоритетом"	$Q = Q_1^* Q_2^* \dots Q_i^* \dots Q_{n-1}^* Q_n^*$ , где $Q_i^* = \frac{Q_i Q(P_j)}{\sum_{j=i}^n Q_j Q(P_j)} \left( 1 - \prod_{j=i}^n (1 - Q_j) \right)$ , $Q(P_j) = \frac{Q_j}{\sum_{j=i}^n Q_j}$ , $Q_i, Q_j$ – вероятности $i$ -го и $j$ -го событий; $n$ – общее количество $i$ -х независимых исходных событий; $j = i, \dots, n$	Событие-следствие имеет место, если происходят все $n$ независимые исходные события, но с приоритетом слева направо
8		"блокировка"	$Q = Q_C Q_A$ , для блокирующего события-условия $C$ вероятностью $Q_C$ и инициирующего события $A$ вероятностью $Q_A$	Событие-следствие имеет место при реализации исходного события $A$ и события-условия $C$
9		"запрет"	Вероятность исходного события $A$ при условии $C$ равна нулю	Реализация исходного события $A$ при условии $C$ по тем или иным причинам исключена (вероятность $A$ при условии $C$ равна нулю)

При выполнении расчетов по нескольким схемам Большого Охтинского моста отработана методика синтеза схемных решений. Подтверждена целесообразность корректировки гидравлической схемы моста в 2004 году, по сравнению с ранее созданной схемой в 1996 году.

На рис. 4 представлены результаты анализа вероятности отказа схемы 2004 года в зависимости от интенсивностей отказов гидроаппаратуры разных подсистем гидропривода. Обращает на себя внимание тот факт, что если интенсивность отказов гидроаппаратуры меньше  $10^{-6}$  1/час, то безотказность системы практически не изменяется. Аналогичный результат был получен и при других исследованиях. То есть получено некое пороговое значение интенсивности отказов, ниже которого система является неактивной и на этих интервалах трудно найти отличия.

Анализ безотказности системы (см. рис. 4) позволил определить наиболее влиятельные узлы и гидроаппаратуру. Из подсистем общего привода наиболее активной, как и ожидалось, оказалась подсистема подклинки, затем основная гидросистема подъемных механизмов и гидросистема замков запираания. В гидросистеме механизмов подклинки

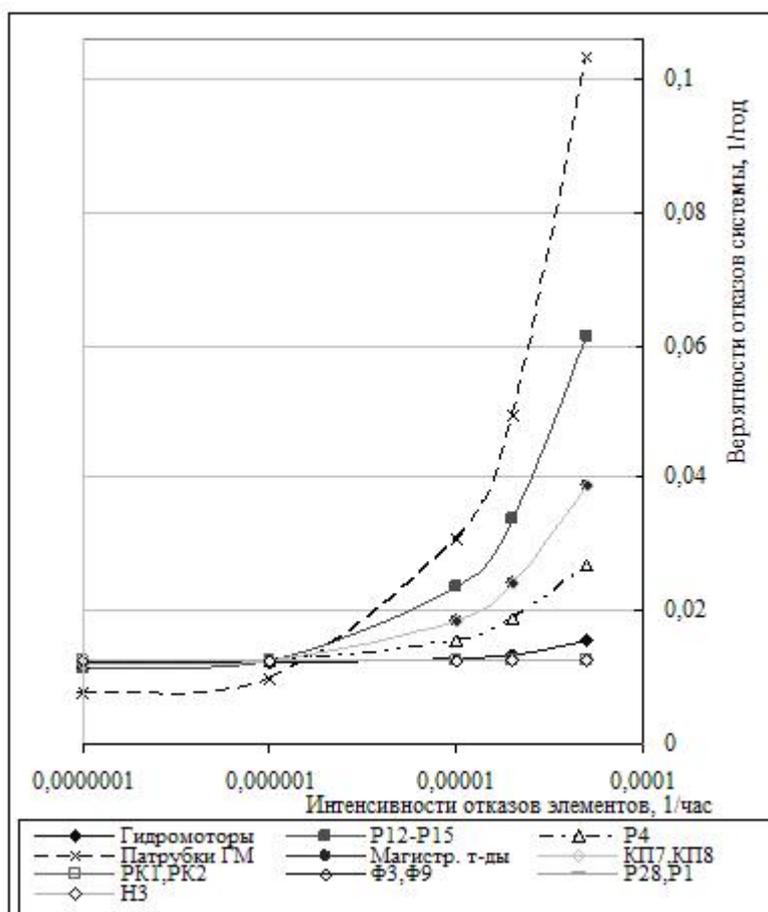


Рис. 4. Графики зависимости вероятности отказа гидросистемы разводных механизмов Большого Охтинского моста при разводке от интенсивностей отказа элементов гидросистемы подклинки

наиболее влиятельными оказались патрубки гидродвигателей и управляющие гидрораспределители. Влияние самих гидродвигателей (гидромоторов) невелико (пятое место), так как по ним имеется резервирование. Аналогичным образом выполнены исследования по другим подсистемам. Так, для гидросистемы подъемных механизмов наиболее влиятельными получились силовые гидроцилиндры и

магистральные трубопроводы. Насосы системы из-за высокой степени резервирования не очень заметно влияют на безотказность системы.

Сравнение аналогичных зависимостей по трубопроводам до и после корректировки схемы позволило оценить не только схемные решения, но и технологии изготовления. Так, реализованная в 2004 году бесшварная технология снизила вероятность отказа системы по этому фактору на 200%.

В работе предложены проектные нормы безотказности для гидравлических подъемных механизмов мостов на основе статистики отказов системы невских мостов, структурная схема которой представлена на рис. 5. Решение задачи выполнено и методом деревьев отказов, и методом структурных схем. Из-за несложной схемы результаты получены одинаковые. На первом этапе, когда безотказности отдельных крыльев мостов не известны, можно ограничиться упрощенными связями между ними, сделав допущение об их одинаковой безотказности. Тогда имеет место следующая зависимость вероятности безотказной работы системы невских мостов:

$$V_{\text{системы}} = V_x^5 (2 - (2V_x - V_x^2)^4 [2 - (2V_x - V_x^2)^2]),$$

где  $V_x$  – вероятность безотказной работы одного условного крыла.

Анализ зависимости показал, что в диапазоне  $V_x = 0,5 \dots 1$  с относительной погрешностью 2% инженерные расчеты можно выполнять по упрощенной формуле:

$$V_{\text{системы}} \approx V_x^5.$$

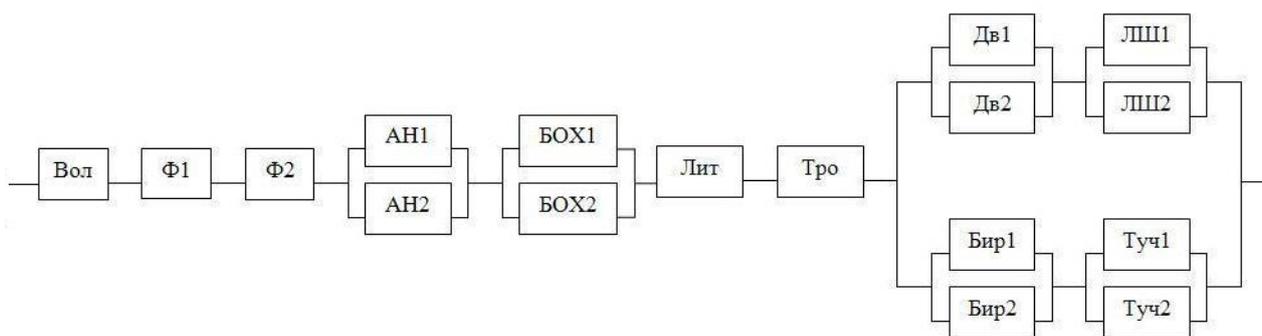


Рис. 5. Структурная схема системы разводных мостов на Волго-Балтийском водном пути через Санкт-Петербург (названия мостов даны в сокращенном виде)

Это означает, что безотказность системы невских мостов определяется в основном безотказностью пяти однокрылых мостов, расположенных последовательно на главном фарватере реки Невы. Двукрылые мосты в инженерных расчетах можно не учитывать.

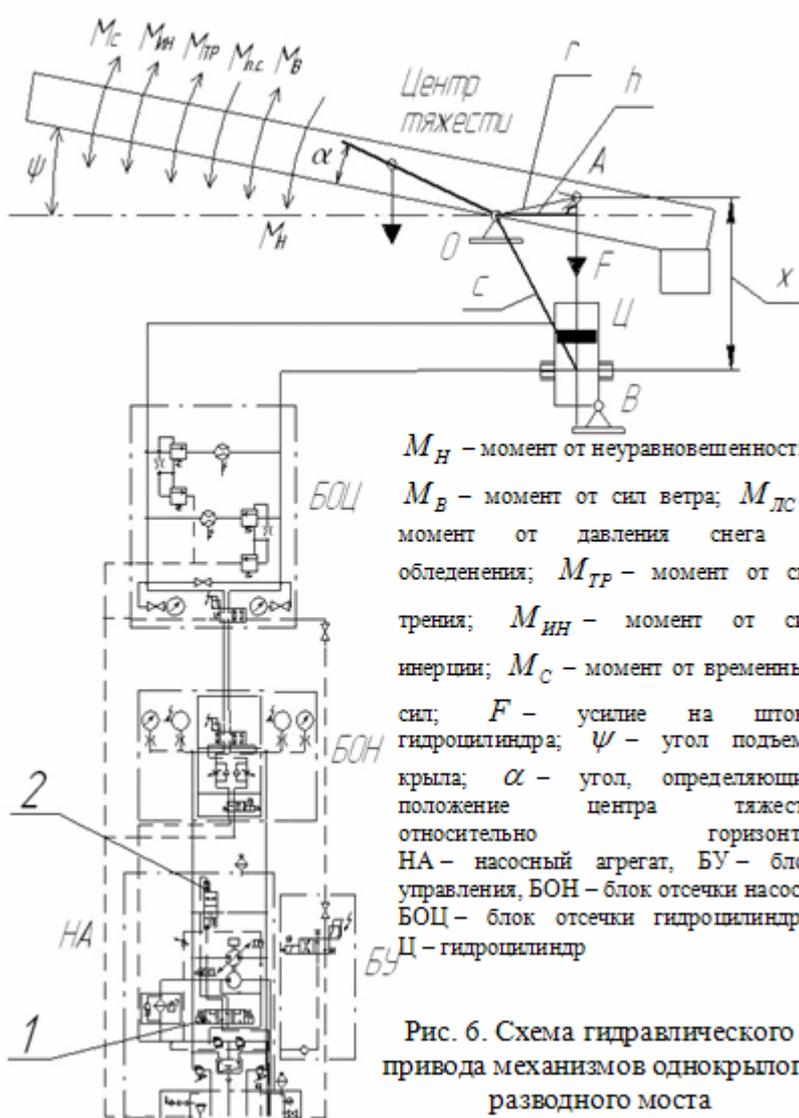
Вероятность безотказной работы условного крыла в первом приближении определена как  $V_x = V_э \cdot V_{э/с} \cdot V_{мех}$ , где  $V_э$  – вероятность безотказной работы электросистемы;  $V_{э/с}$  –

вероятность безотказной работы гидросистемы;  $V_{\text{мех}}$  – вероятность безотказной работы механической системы.

Если допустить равную вероятность безотказной работы подсистем, то  $V_{z/c} = \sqrt[15]{\exp^{-\lambda_c t}}$ , где  $\lambda_c$  - среднестатистическая интенсивность отказов системы мостов.

Для исключения влияния человеческого фактора необходимо ввести понижающий коэффициент  $\lambda_c^{\text{умоч}} = \lambda_c \cdot K_{\text{чел.ф}}$ , где  $K_{\text{чел.ф}}$  – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение среднестатистической интенсивности отказов системы в зависимости от человеческого фактора. При авариях техногенного характера значение  $K_{\text{чел.ф}}$  принимается равным 0,3.

В диапазоне вероятных значений интенсивностей отказов системы невыхских мостов ( $\lambda_c = 1...31/\text{год}$ ), выполнены вычисления, позволившие определить норму по вероятности безотказной работы гидросистемы одного крыла на 270-й день навигации (без человеческого фактора) в интервале  $0,94 \leq V_{z/c, \text{норма}}^{\text{умоч}} \leq 0,98$ .



#### В четвертой главе

выполнено имитационное моделирование режимов работы. По методу элементарно-узловых структур построена математическая модель однокрылого разводного моста с гидравлическим подъемным механизмом согласно схеме, представленной на рис. 6. На основе кинематического анализа механизмов, анализа данных систем мониторинга разработана новая модель нагрузок на разводной пролет:

$$\left\{ \begin{array}{l}
x = \sqrt{r^2 + c^2 + 2 \cdot r \cdot c \cdot \cos(\gamma - \psi)}; \quad h = \frac{r \cdot c \cdot \sin(\gamma - \psi)}{x}; \\
J_{\text{пр}} \cdot \ddot{\psi} = R_{\text{ц}} \cdot h - M_{\text{тр}}^{\text{пр}} \cdot \text{sign} \dot{\psi} - M_H(\psi) - M_B(\psi, t) \cdot n - M_C(\psi); \\
M_H(\psi) = K_{\text{зН}} \cdot G \cdot a \cdot \cos(\psi + \gamma_H), \text{ при } T_B > 0^\circ\text{C}, \text{ без дождя}; \\
M_H(\psi) = K_{\text{зН}} \cdot G \cdot a \cdot \cos(\psi + \gamma_H) + n_{\text{БЛ}} \cdot W_{\text{Л.С.}} \cdot S \cdot r_0 \cdot \cos(\psi + \gamma_0), \text{ при } T_B > 0^\circ\text{C}, \text{ дождь}; \\
M_H(\psi) = K_{\text{зН}} \cdot G \cdot a \cdot \cos(\psi + \gamma_H) + W_{\text{Л.С.}} \cdot S \cdot r_0 \cdot \cos(\psi + \gamma_0), \text{ при } -10^\circ \leq T_B \leq 0^\circ\text{C}, \text{ снег}; \\
M_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{K_{\text{тр}} \cdot r_{\text{тр}}}{\sqrt{1 + K_{\text{тр}}^2}} \cdot \frac{G \cdot (|h_F| + |h_H|)}{|h_F|}; \quad h_H = \frac{M_H(\psi)}{G}; \quad h_F = h(\psi); \\
M_B(\psi, t) = \frac{\rho_B \cdot V_B^2}{2} \cdot k_{\text{рн}} \cdot C_{\text{рн}} \cdot \varphi_{\text{рн}} \cdot S_{\text{рн.б}} \cdot r_{\text{рн}} \cdot \sin(\psi + \psi_B); \\
V = V_0 + V_1 \cdot \sin w_1 \cdot t + V_2 \cdot \sin w_2 \cdot t + V_3 \cdot \sin w_3 \cdot t; \\
M_C(\psi) = F_C(\psi) \cdot L_F; \quad F_C = F_1 \text{ при } \psi = 0; \\
F_C = A_1 + B_1 \cdot \psi \text{ при } 0 < \psi < \psi_1; \quad F_C = 0 \text{ при } \psi_1 \leq \psi < \psi_2; \\
F_C = F_3 \text{ при } \psi_2 \leq \psi < \psi_3; \quad F_C = 0 \text{ при } \psi = \psi_3.
\end{array} \right.$$

где  $r, c, \gamma$  – кинематические параметры;  $n$  – коэффициент направления ветра;  $J_{\text{пр}}$  – момент инерции разводного пролета приведенный к оси поворота;  $S_{\text{рн.б}}$  – площадь брутто поверхности разводного пролета;  $r_{\text{рн}}$  – расстояние, равное половине длины разводного пролета;  $\varphi_B$  – угол восхождения ветрового потока, который учитывает отклонение угла скорости ветра от горизонтального направления;  $L_F$  – расстояние от оси разводного пролета до точки приложения усилия;  $A_1, B_1$  – коэффициенты аппроксимации;  $V_0$  – средняя скорость;  $V_1, V_2, V_3$  – амплитуды гармоник;  $w_1, w_2, w_3$  – частоты гармоник;  $M_H(\psi)$  – момент от сил неуровновешенности;  $M_{\text{тр}}^{\text{пр}}$  – момент от сил трения;  $M_B(\psi)$  – момент от сил ветра;  $h$  – плечо движущей силы;  $x$  – текущая длина гидроцилиндра;  $\psi$  – угол разводки;  $K_{\text{зН}}$  – коэффициент превышения эксплуатационной неуровновешенности над расчетной;  $G$  – вес крыла с противовесом;  $a$  – расстояние от оси вращения до центра тяжести уравновешенного пролета;  $T_B$  – температура воздуха;  $n_{\text{БЛ}}$  – доля нормативных нагрузок;  $S$  – площадь разводного пролета;  $W_{\text{Л.С.}}$  – нормативное давление льда и снега;  $r_0$  – расстояние приложения равнодействующей силы;  $\gamma_H$  – угол, на котором расположен центр тяжести уравновешенного пролета;  $K_{\text{тр}}$  – коэффициент трения;  $r_{\text{тр}}$  – радиус цапфы подшипника;  $\rho_B$  – плотность воздуха;  $V_B$  – скорость ветра;  $k_{\text{рн}}$  – коэффициент, учитывающий изменение динамического давления по высоте;  $C_{\text{рн}}$  – коэффициент аэродинамической силы;  $\varphi_{\text{рн}}$  – коэффициент заполнения.

Уточнена модель трубопроводов – в частности, разрывная функция коэффициента Дарси от числа Рейнольдса аппроксимирована в виде

$$\lambda = \frac{75}{\text{Re}} \cdot \left( \frac{1 + \left( \frac{\text{Re}}{2300} \right)^{71}}{1 + \left( \frac{\text{Re}}{3500} \right)^{36}} \right)^{0,022}.$$

Рекомендовано уравнение расхода через гидрораспределитель при неустановившемся режиме движения жидкости с учетом третьего слагаемого  $\frac{\dot{f}_{op}}{f_{op}} \cdot Q$ , которое учитывает быстроту изменения площади проходного сечения золотника

$$\dot{Q} = \frac{f_{op}(P_1 - P_2)}{l \cdot \rho} - \frac{Q^2}{2\mu \cdot l \cdot f_{op}} + \frac{\dot{f}_{op}}{f_{op}} \cdot Q.$$

Решение модели выполнено численными методами в пакете прикладных программ Model Vision Studium (СПбГПУ).

Имитационное моделирование выполнено применительно к режимам разводки Троицкого моста. Получена расчетная реализация (перепад давления на гидроцилиндрах от времени), хорошо совпадающая (максимальная погрешность 2,2%) с аналогичным графиком системы мониторинга (см. рис. 7). Адекватность расчетной модели достигнута перебором неточных параметров: момента инерции, модуля объемной упругости, коэффициента трения, весового дисбаланса, времени переключения насосов.

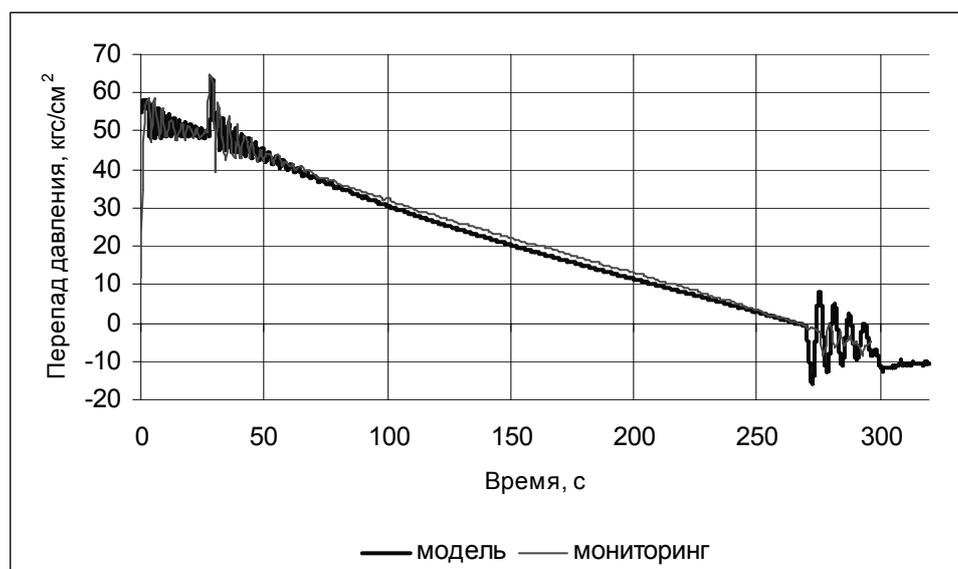


Рис. 7. Совмещенные экспериментальные и теоретические зависимости перепада давления в гидроцилиндрах от времени разводки Троицкого моста (12 сентября 2003 г.)

Детально проанализирован режим разгона пролета при разводке, который характеризуется наибольшими нагрузками. Для нормативного диапазона коэффициента динамичности  $1 \leq K_d = \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p_{\text{стат}}} \leq 1,2$  получены оптимальные значения управляющих параметров гидропривода:  $t_1 \geq 2 \text{ с}$ ;  $\frac{Q_1}{Q_0} \leq 0,4$ ;  $t_3 \geq 4,5 \text{ с}$ ;  $Q_0 \leq 300 \text{ л/мин}$ ;  $t_2 > 20 \text{ с}$  или  $12 \text{ с} \leq t_2 \leq 13 \text{ с}$ .

Оптимальные значения конструктивных параметров гидропривода:  $L_{2/p-2y} \geq 50 \text{ м}$  или  $L_{2/p-2y} \leq 4 \text{ м}$ ;  $d_{\min} (?) \prec d_{2/p-2y} \leq 20 \text{ мм}$ ;  $D_n^{yca} \approx 1 \text{ м}$ ;  $h \approx 1,6 \text{ м}$ .

Соответствующие расчетные зависимости представлены на рис. 8 и 9, а в тексте диссертации – уравнения их аппроксимации.

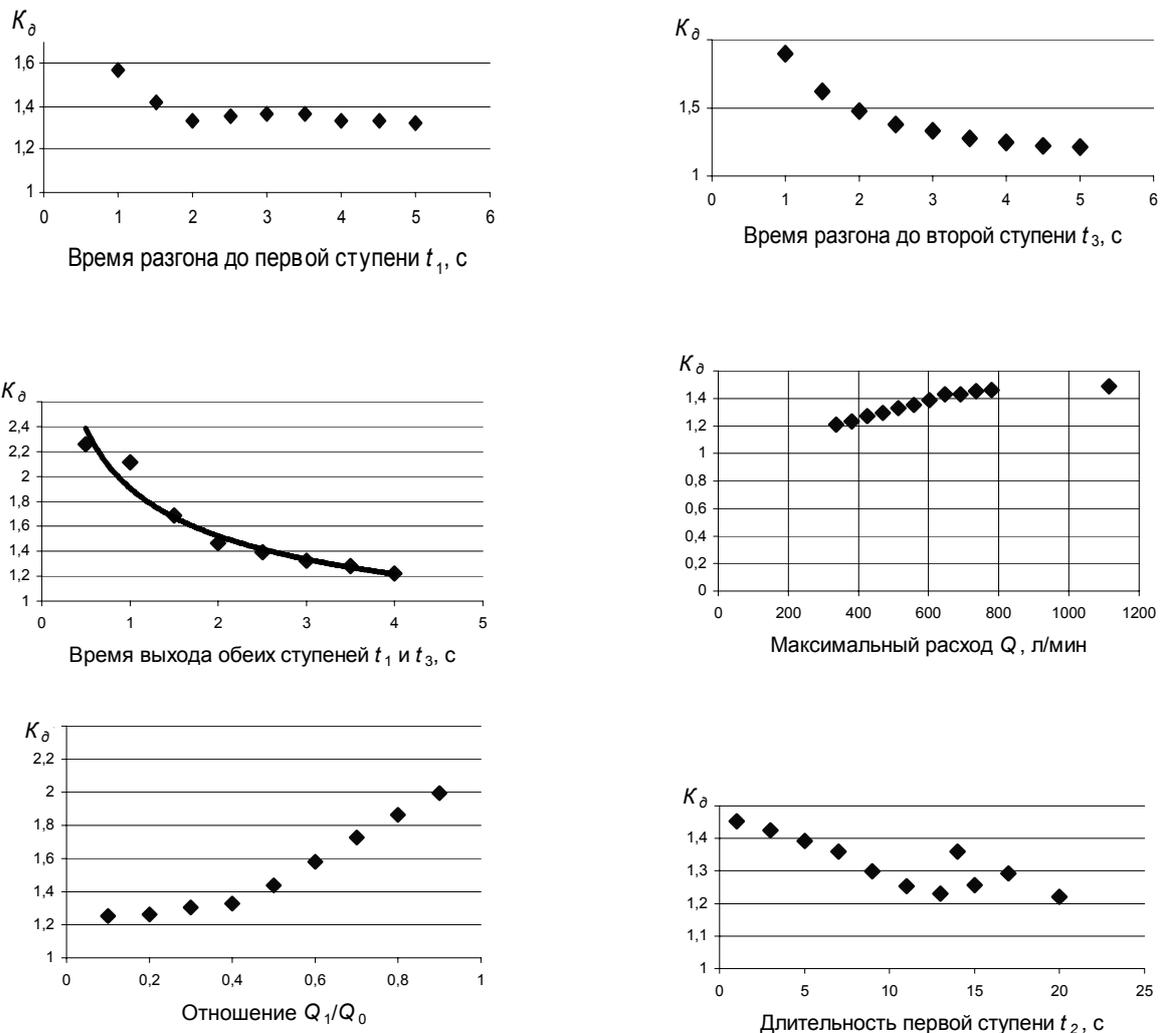


Рис. 8. Расчетные зависимости коэффициента динамичности при анализе режимов управления приводом моста

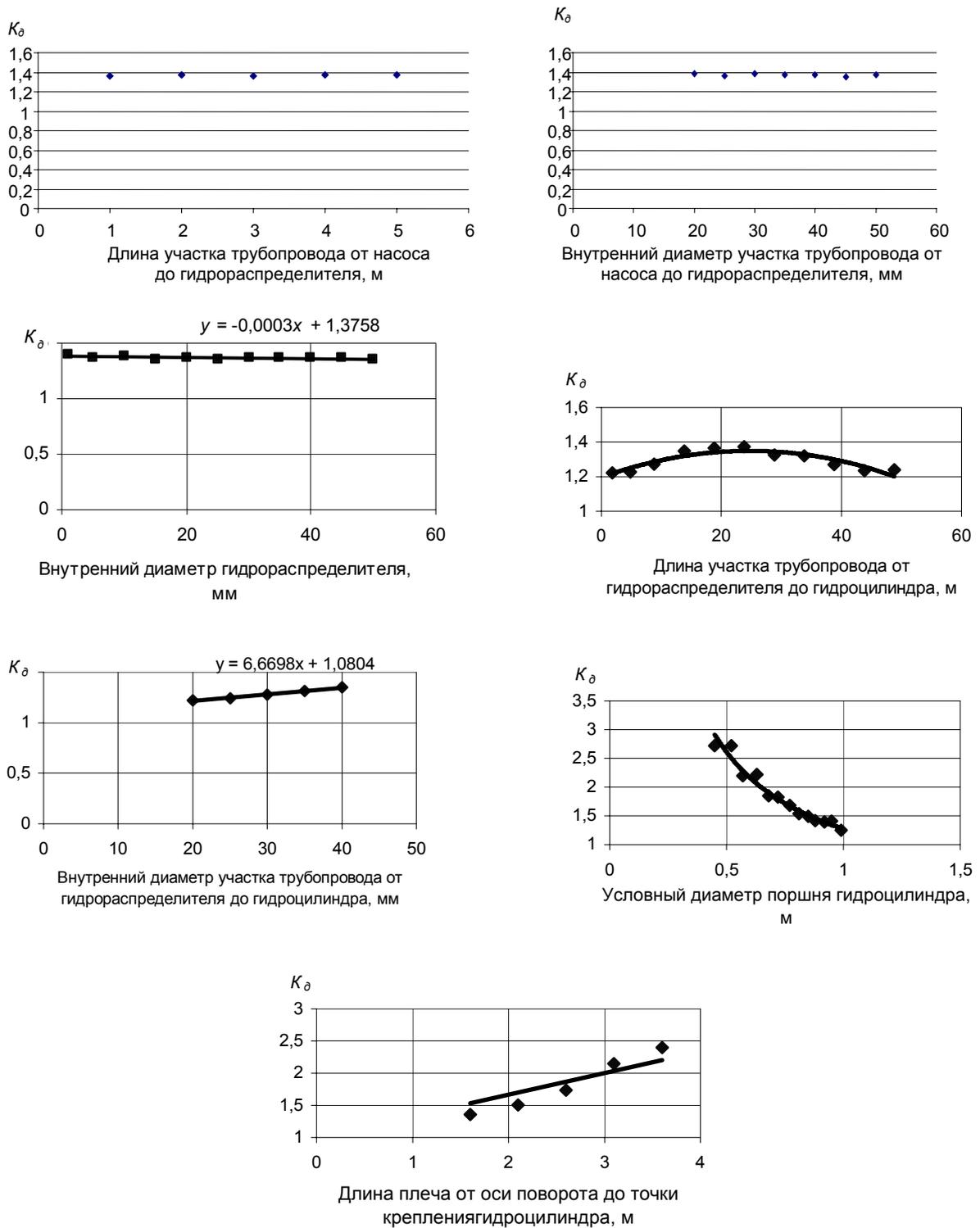
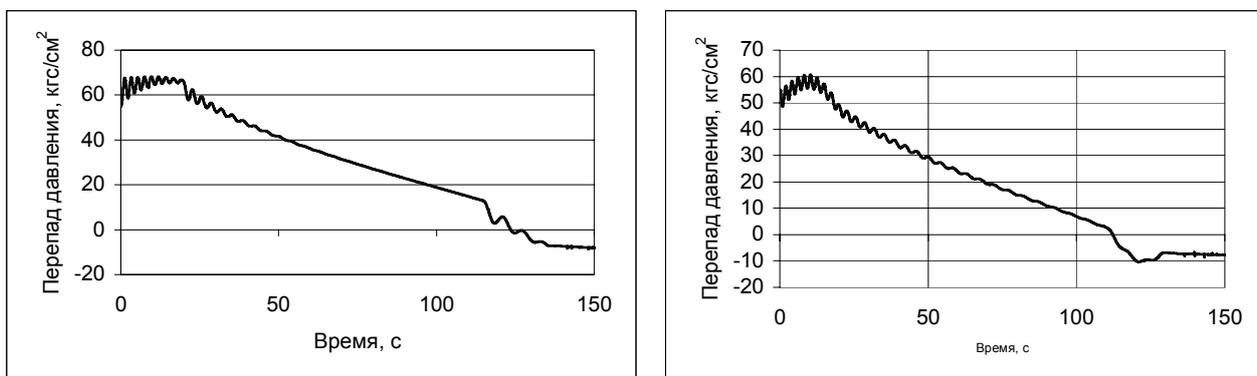


Рис. 9. Расчетные зависимости коэффициента динамичности, использованные при анализе конструкции гидропривода

Изменение ветровой нагрузки и сил трения незначительно влияют на коэффициент динамичности при разгоне. Влияние ветровой нагрузки проявляется на средних и больших углах разводки.

Применение алгоритма разгона по трапецеидальному закону или по закону косинуса позволяет получить нормативные значения коэффициента динамичности даже при быстрой

разводке за 135 секунд, что проиллюстрировано на рис. 10. Существующий алгоритм разгона за цикл разводки 135 секунд дает  $K_d = 1,7$ , что оценивается критичным и не допустимым в эксплуатации.



а) при  $Q = K_Q \cdot t$ ;

б) при  $Q = \frac{Q_0}{2} \left( 1 - \cos \left( \pi \cdot \frac{t}{t_p} \right) \right)$

Рис. 10. Расчетные зависимости перепада давления в гидроцилиндрах Троицкого моста при времени цикла разводки 135 с

Адекватность расчетной модели получена при модуле объемной упругости, равном 1,0 ГПа, что соответствует значениям модуля объемной упругости жидкостно-воздушной смеси и свидетельствует о содержании в гидросистеме 10% нерастворенного воздуха. Имитация режимов разводки с нулевым содержанием нерастворенного воздуха показала, что при релейном алгоритме разгона коэффициент динамичности возрастает (для времени цикла 240 секунд с 1,33 до 1,4, а для времени цикла 135 секунд с 1,7 до 1,9). Следовательно, для существующего на практике алгоритма разгона наличие воздуха является положительным моментом.

В работе также представлены результаты расчетов перемещений, угловых скоростей и ускорений за весь цикл разводки моста, которые могут использоваться в дальнейших расчетах металлоконструкций разводных пролетов.

**Пятая глава** посвящена анализу архивных данных систем мониторинга петербургских разводных мостов с целью построения организационно-технической системы «обратной связи» между этапами эксплуатации и проектирования. Такой анализ был выполнен впервые, так как разводные мосты оснащены стационарными системами мониторинга лишь в 2000–2003 годы.

Разработана методика и создан пакет расчетных программ по определению составляющих нагрузок на разводной пролет в функции угла разводки. В основу методики положена сегментация дней эксплуатации по погодным условиям (эксплуатирующая организация получает метеосводки ежедневно) (см. рис. 11) и классификация мостов по румбам (см. рис. 12).

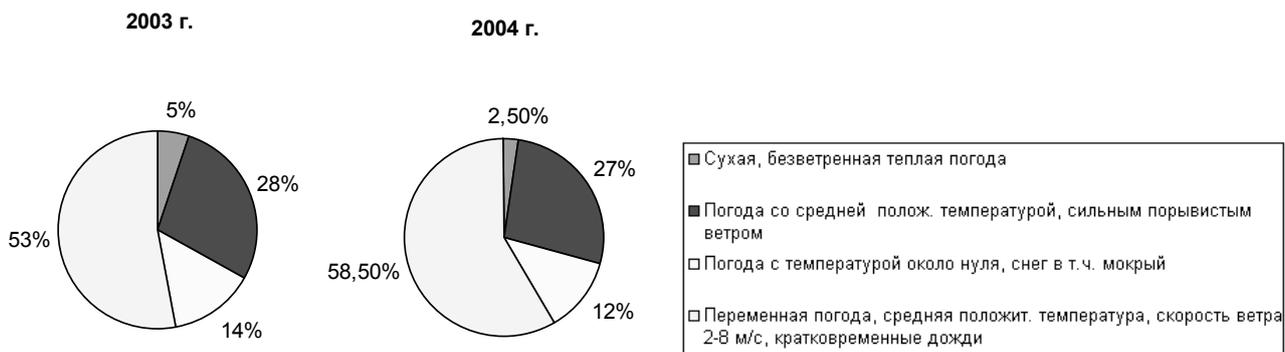


Рис. 11. Сегментация погодных условий в Санкт-Петербурге за 2003 и 2004 годы

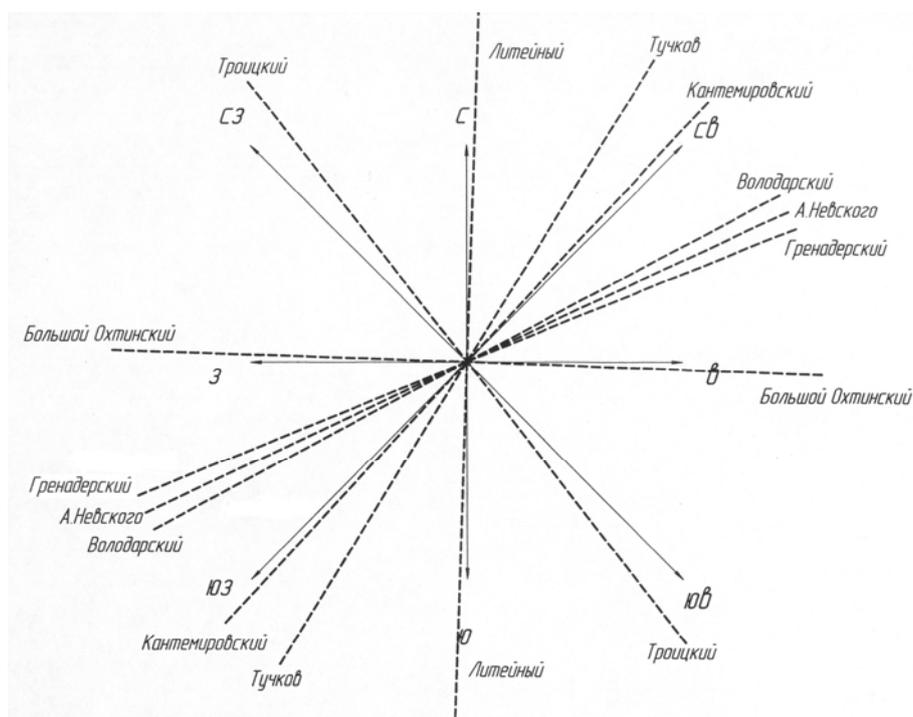


Рис. 12. Румбы петербургских разводных мостов

Момент сил неуравновешенности разводного пролета в наведенном положении определяется для дней сухой, безветренной погоды при положительной температуре воздуха:

$$M^{\vartheta}(0) = \frac{1}{\psi_{\max}} \cdot \int_0^{\psi_{\max}} \frac{(\Delta P_H(\psi) + \Delta P_p(\psi)) \cdot S_{\Sigma} \cdot h(\psi)}{2 \cos(\psi \pm \alpha)} d\psi,$$

где  $\psi_{\max}$  – максимальное значение угла разводки крыла;  $\Delta P_p(\psi)$ ,  $\Delta P_H(\psi)$  – осредненные по гидроцилиндрам перепады давлений;  $S_{\Sigma}$  – суммарная площадь полостей гидроцилиндров.

Угол  $\alpha$  между горизонтальной осью и осью, на которой расположен центр тяжести уравновешенного крыла, определяется из условия

$$\begin{cases} \alpha = \frac{\pi}{2} - \psi_{равн}; \\ \Delta P_p(\psi_{равн}) + \Delta P_H(\psi_{равн}) = 0 \end{cases},$$

где  $\psi_{равн}$  – угол равновесия крыла.

Момент суммарных сил трения равен

$$|M_{тр}|^3 = \frac{1}{\psi_{max}} \cdot \int_0^{\psi_{max}} \frac{1}{2} \cdot S_{\Sigma} \cdot h(\psi) \cdot (\Delta P_p(\psi) - \Delta P_H(\psi)) \cdot d\psi.$$

На углах разводки, соответствующих разгону и торможению, определяются моменты сил инерции: при разгоне  $M_{уп}^{\vartheta}(\psi) = M_{\Sigma}^{\vartheta}(\psi) - M_H^{\vartheta}(\psi) - M_{тр}^{\vartheta}$ , при  $0 < \psi \leq \psi_p$ , при торможении  $M_{итт}^{\vartheta}(\psi) = M_H^{\vartheta}(\psi) + M_{тр}^{\vartheta} - M_{\Sigma}^{\vartheta}(\psi)$ , при  $\psi_t \leq \psi \leq \psi_{max}$ , где  $M_{\Sigma}^{\vartheta}(\psi)$  – зависимость суммарного крутящего момента от угла положения крыла по данным системы мониторинга;  $\psi_p$  – угол положения крыла, при котором закончен разгон;  $\psi_t$  – угол положения крыла, при котором начинается торможение.

Для дней повышенной влажности воздуха определяется доля момента неуравновешенности, связанная с явлением «набухания» разводного пролета,

$$M_{вл}^{\vartheta}(\psi) = M_H^{вл}(\psi) - M_H^{сух}(\psi),$$

где  $M_H^{вл}(\psi)$  – функция момента неуравновешенности разводного пролета от угла разводки в дни влажной, дождевой, безветренной погоды;  $M_H^{сух}(\psi) = M_H^{\vartheta}(\psi)$  – функция момента неуравновешенности разводного пролета от угла разводки в дни сухой, теплой, безветренной погоды.

Аналогично определяются составляющие нагрузки от обледенения и снега

$$M_{лс}^{\vartheta}(\psi) = M_H^{лс}(\psi) - M_H^{сух}(\psi),$$

где  $M_H^{лс}(\psi)$  – функция момента неуравновешенности разводного пролета от угла разводки в дни навигации, когда зафиксировано обледенение (температура воздуха около  $0^{\circ}C$ , дождь, снег).

Для дней навигации, характеризующихся сильным ветром и, например, сухой погодой, определяется составляющая ветровой нагрузки

$$M_{\epsilon}^{\vartheta}(\psi) = M_{\Sigma}^{\vartheta}(\psi) - M_H^{сух}(\psi) - M_{тр}^{\vartheta} - M_u^{\vartheta}.$$

В качестве примера на рис. 13 представлена эта зависимость за 16.09.2003 года. Анализ полученных экспериментальных зависимостей ветровой нагрузки и статистические данные Гидрометцентра РФ, в виде спектральных плотностей, легли в основу математической модели ветровой нагрузки.

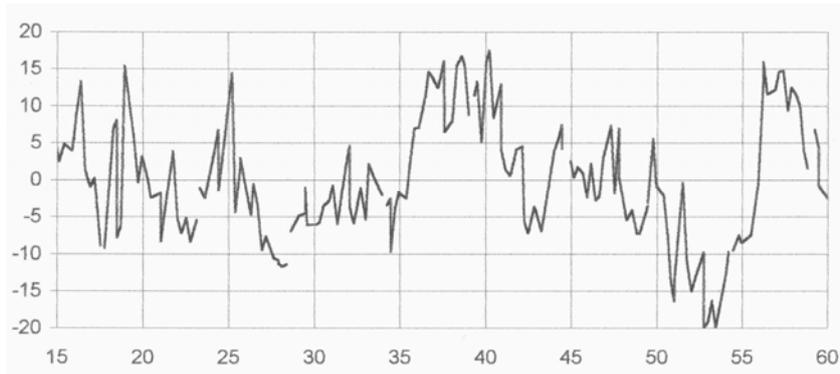


Рис. 13. Зависимость ветровой нагрузки  $M_B^Э(\psi)$  для режима разводки Троицкого моста за 16.09.2003 г.

Статистическая обработка архивных данных систем мониторинга позволила также разработать методику оперативной оценки загруженности механизмов по коэффициенту нагружения

$$K_{н.м} = \frac{M_{\Sigma}^Э}{M_{\Sigma}^P},$$

где  $M_{\Sigma}^Э, M_{\Sigma}^P$  - крутящие моменты, соответственно, при эксплуатации механизмов и по результатам расчетов на стадии проектирования механизмов.

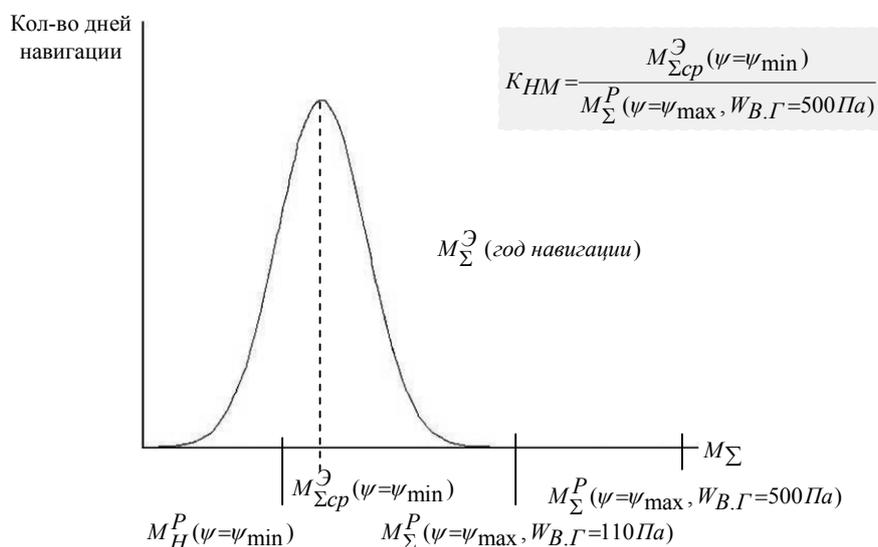


Рис. 14. Общий вид зависимости крутящего момента сопротивления движению крыла для визуализации контроля нагруженности подъемных механизмов

На рис. 14 в общем виде представлено окно расчетной программы с распределением значений максимального момента сопротивления в сравнении со значениями расчетных нагрузок по проектным нормам и с вычисленным  $K_{н.м}$ .

Исследования показали, что подъемные механизмы разводных мостов,

проектируемые по группе М7 международной классификации грузоподъемных кранов ИСО 4301/1, по своим эксплуатационным нагрузкам соответствуют группе М5. Но, несмотря на это, проектные запасы по нагрузкам (резервирование) снижены. Например, по проекту 1965 года коэффициент нагружения механизмов Троицкого моста должен был бы быть  $K_{н.м}^{1965} = 0,26$ , а в 2004 году он был  $K_{н.м}^{2004} = 0,53$ . В работе также представлены результаты статистической обработки данных о нагрузках мостов Литейного и Александра Невского.

Совмещение эксплуатационных графиков систем мониторинга (например, графиков изменения давлений в гидросистеме) с аналогичными расчетными графиками позволило провести на ряде мостов исследования. Изучались негативные явления в механизмах,

существовавшие в эксплуатации многие годы, но не устранявшиеся из-за того, что не были ясны причины этих явлений, а имеющиеся средства контроля не могли их точно зафиксировать.

В работе представлены результаты исследований неустойчивости процесса наводки Троицкого моста и разрыва потока («эффект заземления» объемов в гидромагистралях) в гидросистеме Большого Охтинского моста. В обоих случаях по результатам исследований под руководством автора выполнены проектные и производственные работы и получен положительный результат по устранению этих негативных явлений.

Существенную роль играют системы мониторинга в выборе режимов работы механизмов в период пуско-наладочных работ после ремонтов и реконструкций мостов, а также во время контроля над режимами в период технической диагностики механизмов в начале и конце навигации. На примере четырех пусконаладочных работ на Троицком мосту за 2002–2006 годы выполнен сравнительный анализ расчетных оптимальных значений управляющих параметров гидропривода (см. гл. 4) с их экспериментальными значениями. Установлено их соответствие.

**В шестой главе** разработана и проверена методика экономического обоснования технических решений по изменению конструкций подъемных механизмов разводных мостов в системе неевского фарватера Санкт-Петербурга. В качестве критерия эффективности инвестиций принят показатель дисконтированного денежного потока

$$K + \sum_{t=1}^{T_p} C_t / (1 + E)^t \Rightarrow \min$$
, где  $K$  – капитальные затраты (первоначальные инвестиции);  $T_p$  – расчетный период;  $C_t$  – текущие затраты  $t$ -го года расчетного периода (без включения амортизации на полное восстановление);  $E$  – норма дисконта.

По условиям реального состояния информационной и нормативной базы, в первом приближении, ежегодные текущие затраты приняты постоянными, не зависящими от года эксплуатации  $C_t = C$ . Они определяются как сумма годовых затрат на эксплуатацию мостов (ЭЗ) и ожидаемых потерь (ОП):  $C = ЭЗ + ОП$ . Затраты на эксплуатацию мостов рассчитываются известными способами. Годовые ожидаемые потери определяются в общем случае как произведение денежной оценки ожидаемого ущерба  $H$  на среднегодовую вероятность  $Q(H)$  его возникновения:  $ОП = H \cdot Q(H)$ .

Ожидаемые потери слагаются из потерь, причиняемых судоходству простым караваном судов, утрат от повреждения судов и грузов, затрат на аварийный ремонт мостов, расходов на выполнение работ по ликвидации разлива нефтепродуктов, потерь от сбоя в работе городского транспорта, аварийных городских служб и т.д.

В диссертации подробно рассматриваются потери судоходства от простоя караванов судов на Неве. На основе статистических данных о количестве судов разных типов в составе караванов и о размере тайм-чартерных платежей за суда разных типов и размеров рассчитан ущерб от простоя среднестатистического каравана в течение одних (первых) суток, он равен  $H_R(1) = 50800\$$ . Ущерб за несколько суток определяется нелинейной зависимостью от времени простоя  $H(Y) = H_R(1) \cdot \frac{(1+Y)}{2} \cdot Y$ .

Условная вероятность отказа системы мостов рассчитывается по методикам третьей главы. Среднегодовые значения надёжности системы мостов вычисляются с учётом восстанавливаемости системы. Если средняя наработка системы на отказ менее продолжительности навигации (менее 270 развонок), то среднегодовые значения надёжности системы мостов вычисляются по формуле  $V_{системы}^{cp} = \int_0^{T_{cp}} V(t) dt / T_{cp}$ , где  $T_{cp}$  - средняя наработка на отказ. Если же расчётная средняя наработка системы на отказ больше продолжительности навигации, то учитывается факт выполнения планово-восстановительных работ в межнавигационный период и среднегодовые значения надёжности системы мостов вычисляются при средней наработке на отказ, равной 270 суток – периоду навигации одного года.

Был выполнен расчет экономического критерия для двух вариантов принципиальной гидравлической схемы подъемных механизмов Большого Охтинского моста, по состоянию на 1996 и 2004 год. Критерий для схемы 2004 года получился меньше (лучше) на 13,7 млн.руб., что подтверждает экономическую целесообразность корректировки гидросистемы, выполненной в этот период. Выполнены также расчетные исследования по выбору варианта конструкции механизмов нового проектируемого моста на Малой Неве через о. Серный (на резервном фарватере), сделан анализ целесообразности однокрылого и двукрылого исполнения мостов, расположенных на основном фарватере. Установлено, что разница в ожидаемых потерях по системе в целом для вариантов мостов, расположенных на резервном фарватере, очень невелика и выбор варианта конструкции разводных механизмов можно выполнять по минимуму капиталовложений. В то же время, однокрылые мосты основного фарватера существенно влияют на ожидаемые потери по системе в целом, экономически оправдан переход на двукрылые конструкции, особенно при учёте отказов механизмов, могущих вызывать длительные (до 10 дней) простои судоходства.

В расчетных исследованиях использованы близкие к реальности значения капитальных и эксплуатационных затрат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Главным итогом диссертационного исследования является доказанность реализуемости новой концепции безотказности гидравлических подъемных механизмов разводных мостов, которая позволяет: усовершенствовать систему их проектирования и тем самым решить проблемы участвовавших ремонтов в начальный период эксплуатации, кроме того, сократить время проектирования, объем и сроки доводочных испытаний, пусконаладочных работ, снизить динамическую нагруженность и сократить время циклов разводки и наводки.

Доказательство выполнено путем разработки новых принципов и способов прогнозирования безотказности, имитационного моделирования, мониторинга и технико-экономического обоснования, которые систематизированы с известными принципами и способами в единую систему автоматизированного проектирования в направлении CALS-технологий. Разработанные методики проверены на практике и внедрены в реальные процессы проектирования.

В рамках новой методологии:

- обобщен сорокалетний опыт проектирования и эксплуатации, установлена эволюционная последовательность создания отечественных и зарубежных разводных мостов раскрывающегося типа с гидравлическими подъемными механизмами. Сведения о мостах оформлены в виде базы данных. Выполнен анализ конструкций гидроприводов и кинематический анализ подъемных механизмов. Уточнены и систематизированы с единых позиций основы их проектирования. Выявлены тенденции развития гидравлических подъемных механизмов разводных мостов;
- выполнена систематизация основных расчетных и конструкторских алгоритмов проектирования гидроприводов на основе построения электронного документооборота конструкторской документации. Обобщенная структурная схема САПР объемных гидроприводов построена с использованием стандартных пакетов прикладных программ с единым интерфейсом, в полном соответствии с требованиями ЕСКД. Разработаны оригинальные программно-расчетные модули. Построены библиотеки и базы данных стандартного гидрооборудования. В основу систематизации заложен комплекс взаимосвязанных моделей, которыми отображается любое гидравлическое устройство – это все виды графических моделей (2D, 3D), математические, технико-экономические, текстовые и другие модели. В структуру САПР вошли новые расчетные алгоритмы, что определяет их гармоничную связь с существующими методами и показывает их внедрение в процесс проектирования;
- разработаны методологические подходы к нормированию безотказности подъемных

механизмов разводных мостов, адаптирован и доведен до практического применения в гидроприводах подъемных механизмов разводных мостов метод деревьев отказов и неисправностей. Впервые разработаны графические (2D) и математические модели безотказности типовых гидравлических устройств, блоков гидроуправления и гидравлических приводов, которые позволили получить зависимости вероятности безотказной работы сложной гидравлической системы от интенсивностей отказов гидрооборудования. Благодаря этому, выполнен структурный синтез двух принципиальных схем одного объекта по критерию максимальной безотказности, а также анализ влияния на отказ всей системы поведения отдельных гидравлических устройств и технологий изготовления трубопроводов. Уточнены диаграммы Парето и дерево Исикава;

- разработана, проверена и внедрена в практику проектирования система имитационного моделирования режимов работы гидравлических подъемных механизмов разводных мостов, взаимодействующих с окружающей средой. Основой системы является математическая модель внешних нагрузок на разводной пролет моста, которая разработана впервые для таких объектов на основе метода элементарно-узловых структур. Найдены оптимальные значения управляющих и конструктивных параметров гидропривода механизмов Троицкого моста, доказана целесообразность применения пропорционального управления разгоном крыла при подъеме, проимитированы режимы, которые трудно проверить на действующем объекте;
- впервые выполнена с единых позиций обработка и анализ архива данных систем мониторинга ряда невских разводных мостов и на основе этих результатов разработаны общие подходы к созданию методологии систем диагностики подъемных механизмов невских разводных мостов с целью прогнозирования и предупреждения их отказов. На основе сегментации погодных условий периода навигации мостов создана методика и комплекс вычислительных программ, позволяющие оперативно вычислять нагрузки от сил неуравновешенности, суммарных сил трения, от инерционных нагрузок, от силы ветра, от увлажнения и обледенения пролета, а также определять ряд важнейших параметров, таких как угол раскрытия, соответствующий углу равновесия пролета от сил тяжести, угол на котором расположен центр тяжести пролета, момент инерции пролета, коэффициент динамичности привода и т.д.;
- разработана методика и по ней выполнены практические расчеты экономического обоснования схемотехнических и конструкторских решений, направленных на повышение безотказности гидроприводов подъемных механизмов разводных мостов. В методике учитываются ожидаемые потери, связанные с отказами подъемных механизмов.

Результаты работы включают теоретические положения, совокупность которых, классифицируется как решение крупной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Проектирование гидравлических подъемных механизмов разводных мостов и других уникальных строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин необходимо выполнять в соответствии с разработанной методологией.
2. Автоматизация процессов проектирования гидравлических механизмов должна осуществляться по всему перечню конструкторских документов, определенному ЕСКД. Для гидравлических механизмов это возможно при условии описания стандартного гидрооборудования полным комплексом графических, математических, текстовых, технико-экономических моделей. Анализ показал, что только для одной марки насоса таких моделей может быть более двадцати пяти. В реальных условиях современного конструкторского бюро реализовать такой принцип возможно путем использования различных пакетов прикладных программ и управляющей PDM-системы.
3. Выбор схемных решений и гидрооборудования на этапе проектирования дополнительно необходимо осуществлять по критерию максимальной безотказности. Прогнозирование безотказности удобно выполнять методом деревьев отказов, для этого в работе разработаны базовые модели деревьев отказов различных устройств и правила их построения. Интенсивности отказов гидравлических устройств с порядком значений менее  $10^{-6}$  1/час не проявляются в системных отказах механизмов. Расчетные исследования необходимо выполнять по фактическим данным интенсивностей отказов заводов-изготовителей гидрооборудования, сведения справочников машиностроителей требуют уточнения и корректировки. Необходимо рассмотреть предложенные в работе нормы безотказности невиских мостов (для гидросистем не ниже 0,94) и утвердить их на соответствующем уровне. Учитывая перспективность моделирования безотказности методом деревьев отказов, целесообразно включить его в учебные программы технических вузов.
4. В качестве поверочных расчетов необходимо выполнять имитационное моделирование режимов разводки и наводки моста в режиме реального времени. Для этого создана адекватная одномассовая динамическая модель, учитывающая упруго-диссипативные свойства и конструкцию гидропривода, а также изменение во времени внешних нагрузок на разводной пролет: неуравновешенности, трения, ветра, взаимодействия с опорными конструкциями. Метод элементно-узловых структур и расчетно-программный модуль, выполненный в отечественном пакете прикладных программ, позволяет конструктору в короткие сроки этапа проектирования реализовать расчетные исследования по

оптимизации параметров гидропривода. Исследования динамики разгона Троицкого моста (Санкт-Петербург) подтвердили необходимость изменения алгоритма управления, так как иначе не выполняются проектные нормы по коэффициенту динамичности.

5. Для обеспечения обратной связи между этапами эксплуатации и проектирования необходимо ежегодно осуществлять обработку данных систем мониторинга мостов по разработанным методикам. Это позволяет контролировать загруженность механизмов, выявлять отклонения от заданных режимов работы, а при накоплении информации обосновать проектные нормы по нагрузкам и уточнить их математические модели.
6. Принимаемые на стадии проектирования технические решения по механизмам, связанные с ремонтом, реконструкцией или новым строительством моста, необходимо обосновывать экономически с учетом ожидаемых потерь из-за отказов механизмов. Для петербургских мостов ожидаемые потери необходимо оценивать по всей системе. Среди ущербов, в первом приближении, следует ограничиться учетом убытков от простоя каравана судов и экологических утрат. На зарезервированном участке фарватера влияние ожидаемых потерь незначительно. На незарезервированном участке фарватера необходимо отдавать предпочтение двукрылым конструкциям мостов.

В работе сформулированы новые научные направления исследований, которые целесообразно выполнить в дальнейшем, – например, разработка алгоритмов автоматизированного конструирования, моделирование безотказности других объектов, исследование динамики движения пролетов на средних углах под воздействием ветровых нагрузок, исследование динамики движения жидкости в гладких трубопроводах и т.д.

**Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

**В монографии:**

1. Ащеулов А.В., Белов А.А., Ванинов В.И. Гидравлические приводы разводных мостов раскрывающегося типа. Состояние вопроса, основы расчета и конструирования / Под общ. ред. канд. техн. наук А.В. Ащеулова. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2004.– 144 с.

**В журналах, рекомендованных ВАК РФ до 2007 г.:**

2. Ащеулов А.В., Белов А.А., Кузьмичев В.А. Анализ кинематических схем разводных раскрывающихся мостов // Известия ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование.– Тула, 2003.– С. 45–49.
3. Ащеулов А.В., Петров Ю.А., Кузьмичев В.А. Гидрокинематический анализ разводных раскрывающихся мостов с коромысловым приводом // Известия ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование.– Тула, 2003.– С. 50–55.
4. Ащеулов А.В. Оценка нагруженности гидропривода подъемных механизмов разводного Троицкого моста в Санкт-Петербурге // Известия ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные

машины и оборудование. Вып. 6. – Тула, 2005.– С. 116–122.

5. Ащеулов А.В. Разгон крыла разводного моста при подъеме // Научно-технические ведомости СПбГТУ.– СПб, 2006.– №3.– С. 39–44.
6. Ащеулов А.В., Стефанишин Д.В. Оценка функциональной надежности объемных гидроприводов механизмов подъемных сооружений методом деревьев отказов // Известия ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование. Вып. 7.– Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – С. 275–281.

**В журналах, рекомендованных ВАК Украины:**

7. Ащеулов А.В. Разработка концепции проектирования гидропривода раскрывающихся разводных мостов // Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал.– Вінниця, 2004.– №1(3).– С. 7–9.
8. Ащеулов А.В., Андриенко П.А., Терешин В.А. Динамическая характеристика однокрылового разводного моста // Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал.– Вінниця, 2006.– №1(11).– С. 69–71.

**В других изданиях:**

9. Ащеулов А.В. Аналитическая подсистема мониторинга разводных мостов раскрывающегося типа // Интерстроймех – 2005: Материалы международной научно-технической конференции 17–20 мая 2005 г., Ч.1.– Тюмень: ТУНГ, 2005.– С. 297–300.
10. Ащеулов А.В. Логистическая модель наукоемкого производства новых машин и механизмов в условиях вузов // Технологические и транспортные системы. Логистика: Труды СПбГПУ №494.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 83–87.
11. Ащеулов А.В. О расчете рисков, связанных с отказом механизмов разводных мостов Санкт-Петербурга // Экономика, экология и общество России в XXI столетии: Труды 5-й Междунар. науч.-прак. конф. 15–17 апреля 2003 г., Т.2 – СПб: СПбГПУ, 2003.– С.193–195.
12. Ащеулов А.В. Практические возможности динамической подсистемы системы мониторинга гидропривода подъемных механизмов Санкт-петербургских мостов // Интерстроймех-2006: Сборник материалов Международной научно-технической конференции 19–22 сентября 2006 года.– М: МГСУ, 2006.– С. 108–111.
13. Ащеулов А.В. Проблемы создания и эксплуатации гидрофицированных машин городского хозяйства Санкт-Петербурга и предложения по их решению // Приводы-96: Материалы международной выставки.– СПб: Рестэк, 1996.– С. 31–32.
14. Ащеулов А.В. Простые для ТММ механизмы с внутренними входами оказываются сложными при проектировании // Теория механизмов и машин. 2003 г.– № 2.– С. 76–78.
15. Ащеулов А.В., Андриенко П.А., Терешин В.А. Исследование упруго-диссипативных

- свойств жидкости // Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем: Труды Международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГПУ, 2006.– С. 9–12.
16. Ащеулов А.В., Андриенко П.А., Терешин В.А. О выполнении практических расчетов по динамике объемных гидроприводов машин и механизмов // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Труды III Международной научно-технической конференции 7–9 июня 2005 года.– СПб: СПбГПУ, 2005.– С. 209–211.
  17. Ащеулов А.В., Андриенко П.А., Терешин В.А. О корректности уравнений гидравлики в приводах тяжелых машин // XXXIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 29 ноября – 4 декабря 2004 года, часть III ММФ и ФТИМ.– СПб: Изд-во СПбГПУ, 2005.– С. 121–122.
  18. Ащеулов А.В., Ащеулова И.А. 3D-модель большой сложной системы // Экономические реформы в России: Труды V Международной научно-практической конференции 22–23 июня 2006 года. Часть 3.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.– С. 135–140.
  19. Ащеулов А.В., Белов А.А. Интеграция науки, образования и производства в области механизмов разводных мостов // II Санкт-Петербургский международный форум «Мир мостов» 12–13 октября 2005 г.: Тезисы докладов.– СПб: ВО «Рестэк», 2005.– С. 27–28.
  20. Ащеулов А.В., Белов А.А. Физические основы построения динамической модели объемного гидропривода подъемных механизмов разводных мостов раскрывающегося типа // Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем: Труды международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГПУ, 2006.– С. 12–18.
  21. Ащеулов А.В., Белов А.А., Ванинов В.И. Система мониторинга гидропривода разводных механизмов Санкт-Петербургских мостов // Интерстроймех – 2001: международная научно-техническая конференция.– СПб: СПбГТУ, 2001.– С. 364–365.
  22. Ащеулов А.В., Белов А.А., Кузьмичев В.А. Анализ конструкций разводных мостов // Проблемы транспортных и технологических комплексов: Материалы Международной научно-технической конференции. – Н.Новгород: НГТУ, 2002.– С. 105–108.
  23. Ащеулов А.В., Белов А.А., Петров Ю.А. Мониторинг раскрывающихся систем разводных мостов С.-Петербурга // Интерстроймех–2003: Материалы Международной научно-технической конференции. – Волгоград-Волжский: ВолгГАСА, 2003.– С. 175–177.
  24. Ащеулов А.В., Белов А.А., Терешин В.А. О кинематике разводных мостов // Проблемы транспортных и технологических комплексов: Материалы Международной научно-технической конференции. – Н.Новгород: НГТУ, 2002.– С. 109–114.

25. Ащеулов А.В., Ветрова М.С. Анализ сроков проектирования и внедрения в производство транспортно-технологических систем // XXXIV Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 28 ноября – 3 декабря 2005 года, часть III ММФ.– СПб: СПбГПУ, 2006.– С. 91–93.
26. Ащеулов А.В., Гриф Г.В. Моделирование рабочих процессов в гидроприводе СДМ // Актуальные проблемы механизации дорожного строительства: материалы Республиканской научно-технической конференции.– СПб: СПбГТУ, 1992.– С. 27–28.
27. Ащеулов А.В., Иванищев Д.А. Анализ интенсивностей отказов гидрооборудования // XXXIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 29 ноября – 4 декабря 2004 года, часть III ММФ и ФТИМ.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 75-76.
28. Ащеулов А.В., Лейбович Е.В., Мамыкин И.В. Автоматизированная система контроля за разводкой Санкт-петербургских мостов // Интерстроймех–2001: Материалы Международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГТУ, 2001.– С. 366–367.
29. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Анализ возможностей программного обеспечения по выпуску конструкторской документации при проектировании гидроприводов ПТСМ // Интерстроймех-2004: Материалы Международной научно-технической конференции 14–17 сентября 2004 г.– Воронеж: ВГАСУ, 2004.– С. 78–80.
30. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Визуальная форма представления результатов блока системного проектирования в гидроприводе // Компьютерное моделирование-2003: Материалы научно-технической конференции.– СПб, СПбГПУ, 2003.– С. 256-258.
31. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Виртуальный лабораторный практикум по учебному курсу «Гидравлика и гидропневмопривод» для технических вузов // Совершенствование учебного процесса механико-машиностроительного факультета: Сборник тезисов докладов научно-методической конференции, выпуск 16.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 11–18.
32. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Методика расчета нагрузок на разводной пролет моста раскрывающегося типа // Технологические и транспортные системы. Логистика: Труды СПбГПУ №494. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 70–76.
33. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Особенности этапа системного автоматизированного проектирования разводных раскрывающихся мостов // Интерстроймех–2003: Материалы Международной научно-технической конференции.– Волгоград-Волжский: ВолГАСА, 2003,– С. 173–175.
34. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Система автоматизированного проектирования разводных раскрывающихся мостов // Современное состояние и перспективы развития

- гидромашиностроения в XXI веке: Труды Международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГПУ, 2003.– С. 276–278.
35. Ащеулов А.В., Малышев А.И. Учебное компьютерное проектирование объемного гидропривода механизма определенного типа // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Труды III Международной научно-технической конференции 7–9 июня 2005 года.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 221–222.
  36. Ащеулов А.В., Малышев А.И., Тархов А.И. Новые возможности учебного процесса по курсу «Гидравлика и гидропневмопривод» при использовании 3D-моделирования // Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем: Труды Международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГПУ, 2006.– С. 19–26.
  37. Ащеулов А.В., Мамыкин И.В., Терешин В.А. Оперативное вычисление основных нагрузок разводного моста по данным систем мониторинга их гидравлических приводов // Интерстроймех-2004: Материалы международной научно-технической конференции 14–17 сентября 2004 г.– Воронеж: ВГАСУ, 2004.– С. 75–77.
  38. Ащеулов А.В., Скубак Е.А. Анализ проектных и эксплуатационных режимов работы разводных механизмов Троицкого моста // XXXIV Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 28 ноября – 3 декабря 2005 года, часть III ММФ и ФТИМ.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.– С. 88-90.
  39. Ащеулов А.В., Соколов В.П., Мамыкин И.В. О деятельности Северо-Западного отделения АСПП и его исполнительном органе – научно-техническом предприятии «Гидропривод» // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Збірник наукових праць.– Україна, Кіровоград: Держав. техніч. універс., 2001.– С. 43–45.
  40. Ащеулов А.В., Файнзильбер Е.М. Динамическая модель раскрывающегося моста с неподвижной осью вращения // Проблемы эксплуатации транспортных систем в суровых условиях: Материалы Международной научно-практической конференции 22–23 ноября 2001 г. Ч.2.– Тюмень: ТюмГНГУ, 2002.– С. 23–31.
  41. Ащеулов А.В., Харитонов Н.А., Рыбаков В.Н. О продлении срока службы объемных гидромашин // Современное состояние и перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке: Труды Международной научно-технической конференции.– СПб: СПбГПУ, 2003.– С. 278–281.
  42. Ащеулов А.В., Харламова Е.Е., Маслов В.И. Проблемы качества при создании новых машин // XXXIV Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской

- научно-технической конференции студентов и аспирантов 28 ноября – 3 декабря 2005 года, часть III ММФ и ФТИМ.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.– С. 125–126.
43. Ащеулов А.В., Харламова Е.Е., Седлер М.И. Оценка рыночных перспектив организации производства гидравлических насосных станций // XXXIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов 29 ноября – 4 декабря 2004 года, часть III ММФ и ФТИМ.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.– С. 138–139.
  44. Ащеулов А.В., Шеншов В.С. Производство надежных гидрофицированных машин // Современное машиностроение.– СПб, 2006.– №1(3).– С. 16–19.
  45. Ащеулов А.В., Галустьян Ю.С., Гриф Г.В. и др. Гидропривод возвратно-поступательного движения. Методические указания.– СПб: СПбГТУ, 1994.– 44 с.
  46. Комплекс компьютерных программ виртуального лабораторного практикума по учебному курсу «Гидравлика и гидропневмопривод» для технических вузов»: научно-технический отчет о НИОКР в 5 кн. / ООО «НТП Гидропривод»; рук. Ащеулов А.В.; исполн.: Малышев А.И. и др.– СПб, 2005.– Проект №2115р/4186. (Информационная карта № 01200409238).
  47. Корелин В.Ф., Ащеулов А.В., Гриф Г.В. Использование спектрально-корреляционного анализа при оценке нагруженности приводов землеройных машин // Оптимизация параметров строительных и дорожных машин: Межвузовский сборник научных трудов.– Ярославль: ЯПИ, 1992.– С. 20–23.
  48. Линьяо У., Ащеулов А.В., Терешин В.А. Оптимальное управление разводкой Троицкого моста в Санкт-Петербурге // XXXI Неделя науки СПбГПУ. Ч.III: Материалы межвузовской научной конференции.– СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003.– С. 106–108.
  49. Тархов А.И., Ащеулов А.В., Солодков Д.А. Комплекс учебного оборудования для моделирования процессов силового гидропривода // Инновационные проекты высшей школы: материалы научно-технической конференции.– СПб: СПбГТУ, 1995.– С. 16.
  50. Шмелев К.В., Ащеулов А.В. Конструктивная эволюция разводных мостов // XXXI Неделя науки СПбГПУ. Ч.III: Материалы межвузовской научной конференции.– СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003.– С. 73–74.
  51. Шмелев К.В., Ащеулов А.В., Терешин В.А. Кинематические особенности гидравлических разводных мостов в Санкт-Петербурге // XXXI Неделя науки СПбГПУ. Ч.III: Материалы межвузовской научной конференции.– СПб: СПбГПУ, 2003.– С. 76–78.

### **Патенты:**

52. Пат. 2261312 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 04 Н 3/26, В 60 К 17/10, F 16 Н 7/08. Привод вращения сценической поворотной площадки / А.В. Ащеулов, Н.А. Харитонов, Д.А. Солодков, В.С. Шеншов, И.В. Суворов, С.В. Грачев; патентообладатель ООО «НТП Гидропривод», Государственный Академический Мариинский театр.– №2003126967/11, заявл. 03.09.2003; опубл. 27.09.2005, Бюл.№27.
53. Пат. 51006 Российская Федерация, МПК В66F 3/22 (2006.01). Подъемник / А.В. Ащеулов, Н.А. Харитонов, Д.А. Солодков, В.С. Шеншов, Д.Е. Бортяков; патентообладатель ООО «НТП Гидропривод».– №2005117559/22, заявл. 07.06.2005; опубл. 27.01.2006, Бюл.№03.
54. Заявка № 2006136819/22 Российская Федерация. Установка для заправки гидросистем рабочей жидкостью / А.В. Ащеулов, А.И. Малышев, Д.А. Федоров, О.Н. Шалаева, В.С. Шеншов; патентообладатель ООО «НТП Гидропривод».– № 2006136819/22; заявл. 17.10.2006; решение о выдаче патента.