

На правах рукописи

Китаев Максим Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ТИПА И ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖИТЕЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА В ПРОЕКТАХ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОВ
С НЕСКОЛЬКИМИ РЕЖИМАМИ ДВИЖЕНИЯ**

**05.08.04 – Технология судостроения, судоремонта и организация
судостроительного производства**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток – 2008

Работа выполнена в Дальневосточном государственном техническом университете (ДВПИ им. В.В. Куйбышева).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Антоненко Сергей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Друзь Иван Борисович
кандидат технических наук, профессор
Емельянов Николай Фёдорович

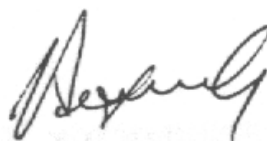
Ведущая организация: Дальневосточный научно-исследовательский,
проектно-изыскательский и конструкторско-
технологический институт морского флота
(ОАО «ДНИИМФ»), г. Владивосток

Защита диссертации состоится 17 декабря 2008 г. в 14.00
на заседании диссертационного совета Д.223.005.01 при Морском государственном университете имени адмирала Г.И. Невельского: 690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ауд. 241 УК 1, тел/факс +7 (4232) 414-968.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского.

Автореферат разослан «28» октября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Резник А.Г.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Резкое уменьшение объемов отечественного судостроения, наблюдаемое в течение последнего ряда лет, привело к моральному и физическому старению флота, средний возраст которого составляет около 20 лет. Согласно официальным данным, свыше 40 процентов судов уже выработали свой нормативный срок службы и не удовлетворяют современным эксплуатационным и техническим требованиям.

Новые суда имеют более высокие эксплуатационные и технические показатели, следовательно, должны быстро окупаться. Однако не каждая судоходная компания может приобрести новое судно. В связи этим вопросы, связанные с продлением эксплуатационного срока службы и повышением основных технических, эксплуатационных и экономических показателей функционирования существующих судов, являются достаточно актуальными.

Одним из возможных путей решения этой проблемы является модернизация и переоборудование судов старой постройки. Модернизация позволяет в относительно сжатые сроки, без изменения основного назначения судна, привести его в соответствие с современными требованиями, нормами, правилами и пожеланиями заказчика.

Объем работ по модернизации может быть различным, начиная от замены отдельных устройств и механизмов, заканчивая, например, заменой всей судовой энергетической установки либо изменением главных размерений судна. Таким образом, в результате выполнения модернизационных работ судно может в значительной степени отличаться от первоначального варианта как по главным размерениям, архитектурному типу, ходовым и мореходным качествам, так и по техническим, эксплуатационным и экономическим показателям. Основанием для модернизации является технико-экономическая целесообразность, подтверждаемая соответствующими расчетами.

В современных условиях эффективность использования судна по назначению определяется экономичностью достижения его эксплуатационно-экономических показателей.

Одним из способов улучшения эксплуатационно-экономических показателей существующих судов является изменение типа и основных характеристик движительного комплекса, выполняемое в рамках проекта модернизации судна. Особенно актуальна эта задача для *судов*, обладающих *несколькими*, радикально отличающимися друг от друга, *режимами движения* (СНРД). К этим судам относятся буксиры, траулеры, спасатели, научно-исследовательские, ледового плавания, многие корабли и т.д. Противоречивость требований, предъявляемых к таким судам, не позволяет проектанту корректно решить такую задачу, основываясь только на собственном опыте и интуиции.

Для глубокой и всесторонней проработки принимаемых технических решений необходимы новые методы и подходы, обеспечивающие поиск оптимального решения простыми и достаточно точными способами, позволяющими

учитывать как случайные факторы и динамику внешней среды, так и специфику функционирования судна в целом.

Таким образом, задача совершенствования методов обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса при выполнении проектов модернизации и переоборудования существующих судов является актуальной.

Целью диссертации является разработка методики обоснования типа и характеристик движительного комплекса в проектах модернизации судов с несколькими режимами движения.

Для этого были решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель пропульсивного комплекса, позволяющая выполнять оценку ходовых качеств судов, оборудованных различными типами движителей.

2. Составлены алгоритмы и программы, позволяющие автоматизировать расчеты ходкости и проектирования движителей для судов различного назначения.

3. Разработана имитационная модель функционирования СНРД, учитывающая случайные факторы.

4. Разработана методика обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса в проектах модернизации СНРД.

5. Предложена методика автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства движительного комплекса, основанная на использовании современных CAD/CAM/CAE-систем.

Методы исследования. При разработке имитационной модели использовались методы имитационного моделирования, оптимизационно-имитационной - методы математического программирования, общей теории статистики, теории вероятностей и согласования решений. Для обоснования типа и характеристик движительного комплекса применялись методы теории игр и теории принятия решений.

Достоверность полученных результатов определяется использованием апробированных численных методов и подтверждается решением тестовых задач, проверенных путем сопоставления полученных результатов с известными данными натурных и модельных экспериментов. Результаты расчетов не противоречат показателям, полученным при проектировании и эксплуатации реальных судов.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. На основе обобщения и анализа теоретических и экспериментальных исследований предложен новый подход к обоснованию типа и характеристик движительного комплекса при модернизации СНРД, основанный на использовании методов математического моделирования и теории принятия решений.

2. Получены регрессионные зависимости для расчетов сопротивления движению судов и гидродинамических характеристик гребных винтов.

3. Разработана математическая модель пропульсивного комплекса, предназначенная для оценки ходовых качеств судов, оборудованных различными типами движителей.

4. Разработана имитационная модель, описывающая работу СНРД

(на примере буксирного судна) и позволяющая выполнять сопоставительные расчеты эксплуатационно-экономических показателей судов, оборудованных различными типами движителей, с учетом случайных факторов.

5. Предложен вероятностный подход к обоснованию типа и основных характеристик движительного комплекса СНРД с учетом требований, предъявляемых к надежности функционирования модернизируемого судна.

6. Предложена методика автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства движительного комплекса, основанная на использовании современных CAD/CAM/CAE-систем.

Основные научные и практические результаты диссертации доложены и обсуждены на международных, всероссийских и региональных конференциях и совещаниях:

Региональная научно-техническая конференция - «Молодежь и НТП» (Владивосток, 2004 - 2006), Международная конференция «Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure (TEAM)» (Владивосток, 2004; Сеул, Республика Корея, 2006), Региональная научно-техническая конференция «Вологдинские чтения» (Владивосток, 2004 - 2007), Международная конференция «The 3rd Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics (Шанхай, КНР, 2006), Международная конференция «The Asialink-EAMARNET International Conference on Ship Design, Production and Operation» (Харбин, КНР, 2007), Всероссийская научно-техническая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2007), Международная научно-практическая конференция «FEBRAT - Проблемы транспорта Дальнего Востока» (Владивосток, 2007), Международная конференция «The 4th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics (Тайбэй, Тайвань, 2008).

Практическая ценность работы заключается в решении важной научно-технической задачи, связанной с разработкой современных методов модернизации и переоборудования судов, обоснования типа и характеристик их подсистем с учетом случайных факторов, оказывающих влияние на эффективность функционирования. Разработанные математические модели, методики и программное обеспечение позволяют автоматизировать инженерные расчеты и использовать их в САПР более высокого уровня.

Материалы диссертационного исследования использованы при выполнении госбюджетных НИР «Теоретические основы проектирования и обеспечения эксплуатационной надежности судов повышенной мореходности» (ГБ № 0120.0 603691) и «Теоретические основы проектирования корпусов судов для экстремальных условий эксплуатации» (ГБ № 01.0.40 001154).

Предлагаемые методики и подходы использованы: при разработке рекомендаций по обоснованию типа и характеристик движительного комплекса для двух серий буксирных судов по заказу ООО «Мортест» (построенных во Вьетнаме для эксплуатации в Каспийском море), разработке проектов модернизации промыслового судна пр. 388М, малых промысловых судов отечественной и зарубежной постройки.

Разработанные программные комплексы позволяют выполнять оценку ходовых качеств судов до и после модернизации, в том числе размерной.

Разработанная имитационная модель позволяет качественно и количественно оценить эксплуатационно-экономические показатели функционирования судов в различных условиях эксплуатации.

Методика обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса способствует повышению качества принимаемых проектных решений.

Методика автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства движительного комплекса позволяет выйти на новый уровень выполнения модернизационных работ, сократить время и материальные затраты судоремонтных предприятий.

Разработанные математические модели, методики и программное обеспечение используются при подготовке инженеров-кораблестроителей, магистров и аспирантов.

На защиту выносятся:

1. Математическая модель пропульсивного комплекса судна.
2. Имитационная модель функционирования СНРД (на примере буксира), учитывающая случайные факторы.
3. Методика обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса в проектах модернизации СНРД.
4. Методика автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства движительного комплекса, основанная на использовании современных CAD/CAM/CAE-систем.
5. Алгоритмы и компьютерные программы, направленные на повышение качества и автоматизацию процессов при выполнении проектов модернизации и переоборудования судов.

Личный вклад автора состоит в обосновании и разработке основных положений, подходов и методик, предназначенных для совершенствования методов принятия проектных решений и технологической подготовки производства при модернизации и переоборудовании судов. При непосредственном участии автора проводились работы по обоснованию типа и основных характеристик движительных комплексов ряда судов. Автором разработан комплекс программ, позволяющих автоматизировать расчеты ходкости и мореходности при выполнении проектов модернизации и переоборудования судов.

Публикации: по теме диссертации опубликованы 12 печатных работ, один электронный учебник и составлены отчеты по двум госбюджетным научно-исследовательским работам, имеющим номера госрегистрации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 162 страницах машинописного текста и включает 70 рисунков, 44 таблицы и 170 наименований отечественных и зарубежных литературных источников.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель, основные задачи, научная новизна и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены основные направления и тенденции развития экспериментальных и теоретических исследований в области проектирования, модернизации и переоборудования судов, определения ходовых качеств, обоснования типа и основных характеристик подсистем судна и показана необходимость решения рассматриваемых в диссертации задач.

Большинство имеющихся в литературе рекомендаций по выбору характеристик формы корпуса и расчету судовых движителей получены на базе опыта проектирования и эксплуатации предшествующих судов, а также путем статистической обработки информации по судам, построенным в разных странах.

В развитие рассматриваемого направления большой вклад внесли А.В. Ашик, А.В. Бронников, Б.В. Богданов, Т.К. Гилмер, А.Н. Гурович, В.С. Дорин, Д.В. Дорогостайский, В.Д. Кулагин, Е.В. Каменский Л.М. Ногид, А.К. Осмоловский, В.М. Пашин, В.Л. Поздюнин, А.И. Раков, Н.Б. Севастьянов, В.Ф. Сидорченко, Л.Ю. Худяков, J.P. Comstock, A.W. Gilfillian, D.M. Watson и др.

Вопросами развития, совершенствования и практического применения методов модернизации и переоборудования судов занимались Н.В. Барабанов, С.А. Винокур, А.А. Гундобин, П. Гофтарш, М.Н. Смоляков, Г.Н. Финкель, А.С. Фишер, В.С. Шпаков, М.Т. Чашков, С.В. Яновский и др. В работах перечисленных авторов отражено современное состояние, подходы и методология решения задач модернизации и переоборудования судов различного назначения.

Проблемам использования и практического внедрения систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа посвящены работы Р.А. Аллика, А.А. Алямовского, М. Грувера, М.В. Головицыной, А.Н. Давыдова, Н.М. Капустина, С.П. Митрофанова, И.П. Норенкова, В.Д. Цветкова, У.Д. Энгельке и др.

Развитию и внедрению методов имитационного моделирования в практику проектирования посвящены работы В.И. Аполлинариева, В.Н. Бусленко, А.Н. Гульятеева, А. Прицкера, А.И. Середы, В.П. Шостака и др.

Развитию и совершенствованию методов технико-экономического обоснования судов различного назначения посвящены работы В.М. Пашина, В.Е. Астахова, В.И. Краева, В.П. Соколова и др.

Некоторые аспекты, связанные с учетом требований, предъявляемых к надежности функционирования морских судов, рассмотрены в работах В.Г. Бугаева, Н.П. Бусленко, А.Г. Варжапетяна, Б.В. Гнеденко, И.М. Маликова, В.М. Пашина, В.Е. Рожкова.

В работах Я.И. Войткунского, Ф.М. Кацмана, А.А. Костюкова, П.А. Малого, Г.Е. Павленко, А.А. Русецкого, И.А. Титова и др. обобщены результаты исследований ходовых качеств судов, выполненных различными авторами, и приводятся методы, позволяющие выполнять практические расчеты ходкости судов различного назначения.

В разных странах проводились модельные испытания гребных винтов с различными геометрическими характеристиками. Часть работ посвящена автоматизации методов определения основных характеристик гребных винтов.

Значительный вклад в развитие этого направления внесли В.М. Лаврентьев, Э.Э. Папмель, W. Gent, M.W.C. Oosterveld, P. van Oossanen, H.W. Lerbs, W.P.A. Lammeren, H. Lindgren, L. Troost и др.

В работах А.Ш. Ачкинадзе, М.Я. Алферьева, В.С. Антоненко, Л.С. Артюшкова, В.Ф. Бавина, Ю.В. Бакшта, А.М. Басина, Н.Ф. Емельянова, М.М. Жученко, Ф.М. Кацмана, А.А. Русецкого, В.К. Турбала, Л.Л. Хейфеца и др. обобщены результаты модельных и натурных испытаний гребных винтов, приведены эмпирические методы определения сопротивления, а также расчета и проектирования движителей различного типа.

Весьма сложные вопросы взаимодействия гребных винтов с корпусом судна рассмотрены в работах А.М. Басина, В.М. Лаврентьева, Н.Н. Поляхова, Г.А. Фирсова, К.К. Федяевского и др.

Рассматривая вопросы, связанные с обоснованием типа и основных характеристик движительного комплекса при модернизации СНРД, необходимо отметить следующее. Для СНРД характерно наличие, как минимум, двух резко отличающихся режимов хода. При этом могут применяться, по крайней мере, четыре варианта движительного комплекса: винты фиксированного (ВФШ) или регулируемого шага (ВРШ), в насадках и без них. Комплекс может включать один или два винта. Каждый из этих вариантов имеет достоинства и недостатки. При модернизации и переоборудовании существующих судов этого типа, научно-обоснованный выбор движительного комплекса возможен только при привлечении соответствующих математических методов и выполнении подробного технико-экономического анализа. Последний может проводиться на основе детального рассмотрения процесса эксплуатации судна с новым и старым движителем посредством имитационного моделирования. Предлагаемый в настоящей работе подход позволяет учесть относительное время работы судна на различных режимах, удаленность районов эксплуатации, глубину фарватера и др.

Кроме того, существенное влияние на эффективность функционирования СНРД оказывают случайные факторы, к которым относятся погодные условия (гидрометеорологические факторы) и неопределенность, связанная с районом выполнения работ, временем года, объектом буксировки, уровнем цен на топливо и смазочное масло, согласованностью действий экипажа, конкуренцией, количеством буксировок и т.д.

Принимая во внимание действие значительного количества факторов, большинство из которых имеют вероятностную природу, возникает вопрос о возможности и целесообразности использования вероятностных показателей, характеризующих работу судна за определенный период времени.

Учитывая современный уровень развития вычислительной техники, широкое использование в научно-исследовательской деятельности современных *систем компьютерной математики* (СКМ), позволяющих использовать

более сложные и точные математические методы, возникает вопрос целесообразности расширения области применения методов теории надежности при модернизации и переоборудовании судов.

Из анализа развития методов проектирования, модернизации, переоборудования, технологической подготовки производства и определения характеристик ходкости судов, отметим следующее:

1. Вопросам обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса при выполнении проектов модернизации и переоборудования судов не уделяют достаточного внимания.

2. Большинство методов оценки ходкости, используемых при выполнении проектов модернизации и переоборудования судов, ориентировано на применение графиков и номограмм, то есть содержит большую долю ручного труда, что влияет на сроки разработки проекта и подготовки соответствующей документации.

3. Перспективным направлением при выполнении проектов модернизации и переоборудования судов, является использование методов имитационного моделирования, позволяющих учитывать случайные факторы и динамику внешней среды.

4. Актуальными являются вопросы надежности в проектах модернизации судов.

5. Недостаточно освещены вопросы, связанные с автоматизацией работ по проектированию и технологической подготовке производства в проектах модернизации судов.

Анализ литературных источников показал, что вопросы, связанные с заданием требований к надежности функционирования, а также обоснованием типа и основных характеристик движительного комплекса для судов с несколькими режимами движения, являются актуальными при решении задач модернизации и переоборудования судов.

Таким образом, представляется целесообразной разработка методики обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса при модернизации и переоборудовании судов, основанной на использовании современных научных методов и подходов, а также систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа.

Предлагаемая методика позволит охватить спектр работ, начиная от моделирования, сравнения вариантов и принятия решения до разработки конструкторской и технологической документации, программ для станков с ЧПУ и практической реализации проекта.

Структурная схема работы приведена на рис. 1.

Методика может использоваться в проектах модернизации и переоборудования судов, связанных с изменением типа и характеристик движительного комплекса, заменой главной энергетической установки, размерной модернизацией судов, изменением формы оконечностей судна и др.

Для решения поставленных в диссертации задач разработаны: ряд математических моделей, позволяющих автоматизировать вычисления, связанные с определением показателей ходкости судов; программные модули

проектирования гребных винтов различных типов, рассчитанных на определенный режим движения, в том числе свободный ход, ход с возом или компромиссный режим; программы определения сопротивления движению судов и гидродинамических характеристик гребных винтов различных типов, основанные на результатах модельных и натурных испытаний, проводившихся в нашей стране и за рубежом; имитационная модель, учитывающая случайные факторы, оказывающие влияние на судно в процессе эксплуатации; алгоритм и программа, позволяющая производить обоснованный выбор типа и характеристик движительного комплекса.

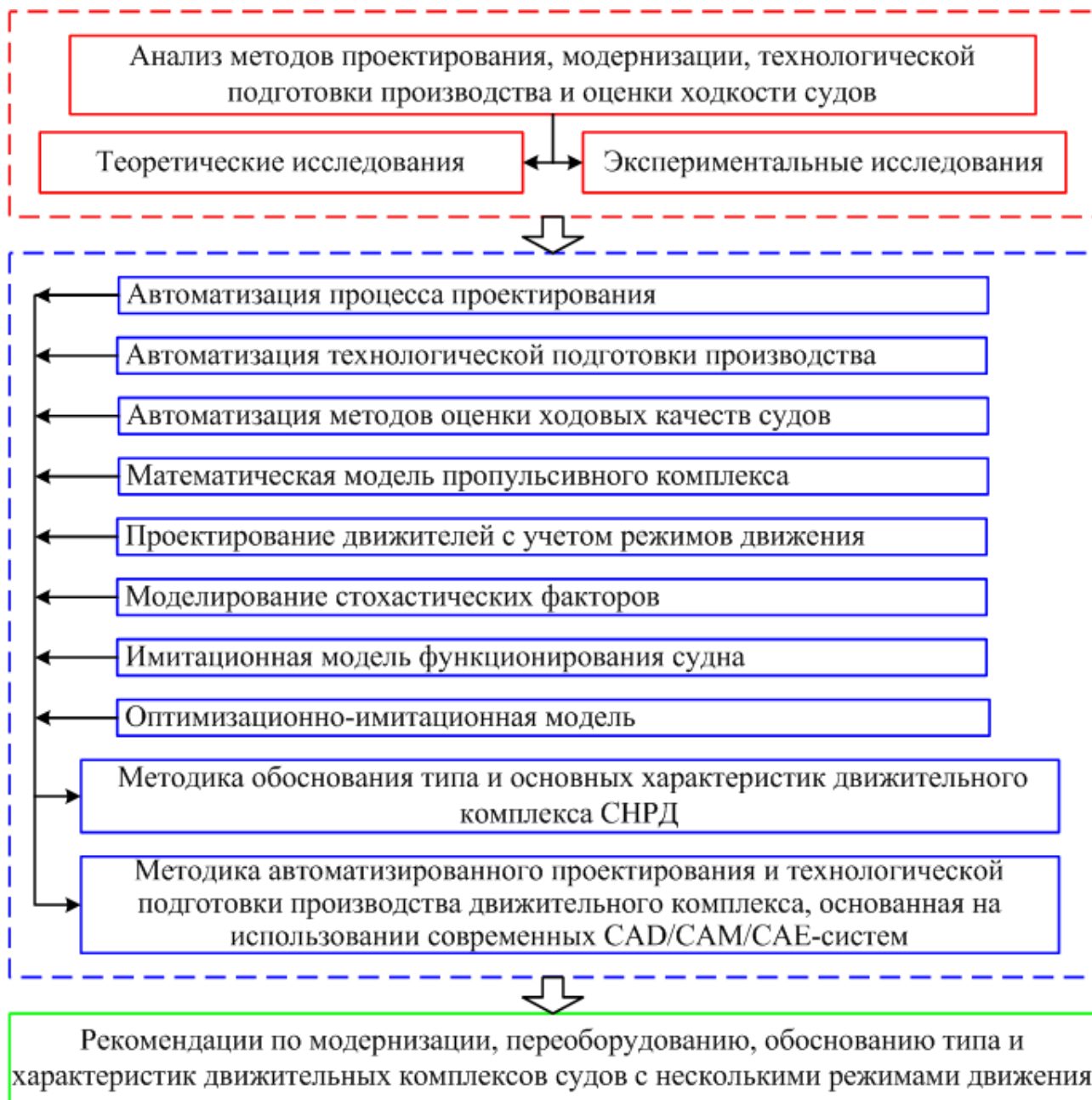


Рис. 1. Структурная схема работы

Во второй главе рассмотрены математическая модель пропульсивного комплекса и возможности ее применения для оценки ходовых качеств при модернизации судов различного назначения.

Модель включает ряд аналитических зависимостей, описывающих отдельные элементы и работу пропульсивного комплекса судна в целом, и состоит из следующих основных блоков:

- расчёт сопротивления движению судна;
- расчёт гидродинамических характеристик гребных винтов;
- расчёт расхода топлива главных двигателей.

В формализованном виде модель можно представить в виде системы уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum P_e = R + \sum_{i=1}^m \Delta R_i; \\ R = f(L, B, T, \delta, \alpha, \beta, \dots, Fr, Re); \\ K_T = f\left(\frac{A_e}{A_0}, \frac{P}{D}, J, Z\right); \\ K_Q = f\left(\frac{A_e}{A_0}, \frac{P}{D}, J, Z\right); \\ G = f(N_e, n). \end{array} \right. \quad (1)$$

где P_e – эффективная тяга движителя; R – сопротивление судна; ΔR_i – дополнительное сопротивление от внешней среды, буксируемого объекта и т.п.; L, B, d – соответственно длина, ширина и осадка судна; δ – коэффициент общей полноты; α – коэффициент полноты площади действующей ватерлинии; β – коэффициент полноты мидель-шпангоута; Fr – число Фруда; Re – число Рейнольдса; K_T, K_Q – соответственно коэффициенты упора и момента винта; A_e/A_0 – дисковое отношение гребного винта; P/D – конструктивное шаговое отношение гребного винта; J – относительная поступь; Z – количество лопастей гребного винта; G – расход топлива; N_e – мощность главного двигателя; n – частота вращения главного двигателя.

Первое уравнение в системе (1) является условием равновесия судна, движущегося с постоянной скоростью под действием тяги винтов и сопротивления среды. Второе представляет зависимость сопротивления движению от характеристик формы корпуса судна. Последующие два выражения дают зависимости гидродинамических характеристик винта от его геометрических и кинематических характеристик; здесь также могут использоваться специальные диаграммы и их аппроксимации. Наконец, имеется зависимость между количеством топлива, расходуемого главным двигателем, и режимом его работы, также обычно графическая, но допускающая аналитическую аппроксимацию.

С помощью математической модели соединяются воедино уравнение движения судна, функция, определяющая зависимость сопротивления движения от основных геометрических характеристик, гидродинамические характеристики гребных винтов, зависимость расхода топлива от мощности и

частоты вращения, а также результаты модельных и натурных испытаний, необходимые для построения соответствующей реальности модели.

С целью автоматизации расчетов, связанных с определением ходовых качеств судов, методами регрессионного анализа получены аналитические зависимости, обобщающие результаты модельных и натурных испытаний по определению сопротивления движению судов и гидродинамических характеристик гребных винтов. В качестве аналитических зависимостей использовались полиномы вида $\sum_{k=0}^m a_k x^k$ со степенями, в зависимости от характера исходных кривых, от 2 до 6, коэффициенты которых подбирались по методу наименьших квадратов (МНК). Погрешности аппроксимаций полученных полиномиальных зависимостей не превышают 5 %, а во многих случаях - менее 3 %.

Зависимость коэффициента остаточного сопротивления от характеристик формы корпуса можно представить в виде

$$C_R = f\left(\varphi, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, \beta, \bar{X}_c, a\right), \quad (2)$$

где a - коэффициенты, являющиеся функцией числа Фруда;

$$a = \sum b_i Fr^i, \quad (i = 0, \dots, n), \quad (3)$$

b – числовые коэффициенты.

Особенностью разработанной математической модели пропульсивного комплекса является возможность моделирования работы судна, оборудованного различными типами движителей, с учетом проектного режима движителя (скоростной, тяговый или компромиссный).

В модель заложены следующие варианты движительного комплекса: ВФШ, ВРШ, в направляющей насадке или без нее, количество гребных винтов – один или два. Такие варианты движительного комплекса, как водометные, крыльчатые движители, поворотные винто-рулевые колонки, включая систему АЗИПОД, в работе не рассматривались.

При разработке математической модели пропульсивного комплекса для расчета гидродинамических характеристик винтов фиксированного шага, в частности, коэффициентов упора и момента K_T и K_Q , использовались известные универсальные полиномы вида:

$$\begin{aligned} K_T &= \sum_{k=0}^{38} A_k (Z_k)^{Q_k} \left(\frac{A_e}{A_0}\right)^{X_k} \left(\frac{P}{D}\right)^{Y_k} (J)^{Z_k}; \\ K_Q &= \sum_{k=0}^{46} B_k (Z_k)^{Q_k} \left(\frac{A_e}{A_0}\right)^{X_k} \left(\frac{P}{D}\right)^{Y_k} (J)^{Z_k}. \end{aligned} \quad (4)$$

где Z – количество лопастей; A_e/A_0 - дисковое отношение; P/D – шаговое отношение; J – относительная поступь.

Автором выполнена аппроксимация графических зависимостей для определения гидродинамических характеристик ВФШ в направляющих насадках и ВРШ в насадках и без них.

Зависимость коэффициента упора K_T и момента K_Q от относительной поступи представлена выражением

$$K_{T,Q} = \sum_{k=0}^n a_k J^k, \quad (5)$$

где a_k - коэффициенты, являющиеся функцией от шагового отношения:

$$a_k = \sum_{i=0}^m b_i \left(\frac{P}{D} \right)^i, \quad (6)$$

где b_i – числовые коэффициенты, зависящие от значений дискового отношения.

Для определения расхода топлива *главным двигателем* (ГД) получена функциональная зависимость удельного расхода топлива от крутящего момента M и частоты вращения двигателя n

$$g_e = \sum_{i=0}^n a_i M^i, \quad (7)$$

где a_i - значения коэффициентов, определяемые по зависимости

$$a_i = \sum_{k=0}^m b_k n^k, \quad (8)$$

где b_k – числовые коэффициенты, зависящие от частоты вращения двигателя.

Математическая модель и созданный на ее основе программный комплекс использовались при разработке проектов модернизации ряда судов отечественной и зарубежной постройки. В качестве примера в работе приведены результаты проработки проекта модернизации промыслового судна типа РС-300 (пр. 388 М). Необходимость работы возникла в связи с изменением схемы промысла и орудий лова. При этом рассматривались два варианта:

1. Изменение типа и характеристик движительного комплекса.
2. Замена существующего главного двигателя на высокооборотный дизель с редукторной передачей и установка нового движительного комплекса.

Разработанный программный комплекс достаточно универсальный и может использоваться для определения характеристик ходкости судов различного назначения. На рис. 2 представлены результаты сопоставительных расчетов, выполненных для одновинтового буксирного судна и восьми возможных вариантов движительного комплекса. Кривые характеризуют зависимость мощности ГД (рис. 2, а), упора движительного комплекса (рис. 2, б), КПД (рис. 2, в) и оборотов ГД (рис. 2, г) от скорости движения судна.

Программный комплекс позволяет использовать различные методы расчета сопротивления, определять достижимую скорость свободного хода, скорость хода с буксируемым объектом, упор, тягу, момент, расход топлива и потребную мощность главного двигателя на различных режимах движения,

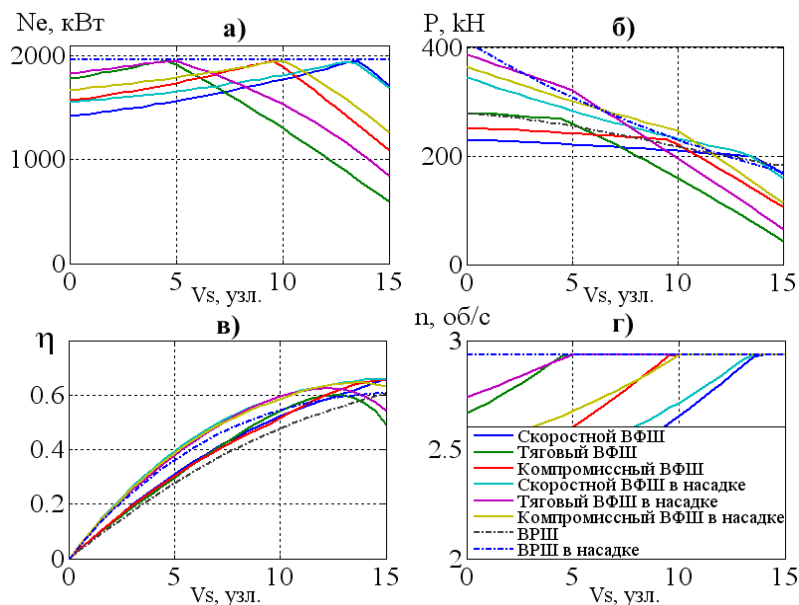


Рис. 2. Результаты расчета для буксирного судна

динамические факторы, влияющие на эффективность эксплуатации судна. Рассмотрена возможность использования модели для определения технических и эксплуатационно-экономических показателей функционирования судов в проектах модернизации и переоборудования, связанных с изменением типа и характеристик движительного комплекса, заменой главного двигателя, размерной модернизацией и др.

Случайные факторы, действующие на судно со стороны внешней среды, в основном определяются гидрометеорологическими условиями, характерными для рассматриваемого района эксплуатации (воздействие ветра и волн, имеющих определенную обеспеченность), а также неопределенностью, заключающейся в выборе объекта буксировки. Буксирные суда нередко привлекаются к выполнению спасательных операций, при этом, как правило, заранее неизвестно, с какими объектами придется работать.

Роль указанных факторов в основном заключается в увеличении сопротивления движению судна, что сказывается на продолжительности рейса и изменении его технических и эксплуатационно-экономических показателей.

Полное сопротивление буксира определяется выражением

$$R_{\text{букс.}} = R_{\text{обр.}} + R_{\text{в.в.}} + R_0 + R_{\text{м.в.}} + R_{\text{dD}} + R_{\text{лед}}, \text{ кН}, \quad (9)$$

где $R_{\text{обр.}}$ – сопротивление от обрастания буксирного судна; $R_{\text{в.в.}}$ – дополнительное сопротивление от воздействия ветра и волн; R_0 – сопротивление корпуса буксира с учетом надбавки на шероховатость, выступающих частей и добавочного сопротивления гребных винтов; $R_{\text{м.в.}}$ и R_{dD} – добавочные сопротивления от влияния мелководья и изменения посадки буксирного судна в процессе эксплуатации; $R_{\text{лед}}$ – сопротивление льда.

Для буксируемого объекта можно записать аналогичную (9) зависимость, учитывая при этом дополнительное слагаемое, обусловленное наличием

вычислять гидродинамические характеристики гребных винтов фиксированного и регулируемого шага, винтов в насадках, рассматривать одно- и двухвинтовой варианты судна и выполнять проектировочные расчеты гребных винтов указанных типов.

В третьей главе рассмотрена имитационная модель функционирования СНРД, на примере буксира, учитывающая случайные

гребных винтов $R_{\text{винт}}$, застопоренных или свободно вращающихся, в случае отсутствия таковых принимать $R_{\text{винт}} = 0$.

Полное сопротивление состава можно представить как

$$R = R_{\text{букс.}} + R_{\text{б.о.}} + R_{\text{трос}}, \text{ кН}, \quad (10)$$

где $R_{\text{трос}}$ – сопротивление буксирного троса.

Имитационная модель позволяет рассматривать работу судна в динамике с

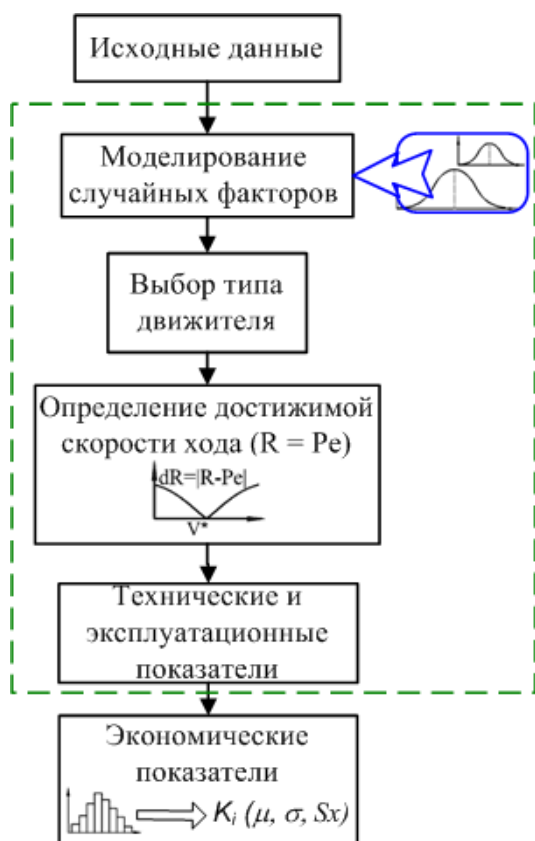


Рис. 3. Блок-схема имитационной модели

учетом воздействия случайных факторов. При этом имеется возможность моделирования работы судна в различных морях с присущими им географическими и гидрометеорологическими особенностями. Комбинация внешних факторов, действующих на судно, может быть различной, полное сопротивление может включать как все перечисленные выше компоненты, так и некоторые из них.

Сведения по районам эксплуатации судна (море, район, протяженность, курсовой угол и т.д.) задаются посредством специального модуля, включающего всю необходимую информацию по маршрутам.

Блок-схема предлагаемой имитационной модели приведена на рис. 3.

Работоспособность модели проиллюстрирована на примере буксирных судов, оборудованных различными типами движительных комплексов.

В проектах модернизации судов, связанных с изменением типа и основных

характеристик движительного комплекса, предлагаемая имитационная модель позволяет качественно и количественно оценить влияние движительного комплекса на эффективность функционирования судна в целом.

Модель является универсальной и может быть использована для определения технических и эксплуатационно-экономических показателей в проектах модернизации и переоборудования судов различных типов. Основное отличие будет заключаться лишь в блоках, учитывающих специфику функционирования судов рассматриваемого типа.

Результатами имитационного моделирования являются экономические и технические показатели, характеризующие эффективность функционирования судна за рассматриваемый период времени. Состав и количество выходных характеристик определяются пользователем.

Оценка альтернативных вариантов судна, оборудованного различными типами движительного комплекса, выполняется сопоставлением значений

математических ожиданий μ_i , характеризующих эксплуатационные и экономические показатели функционирования.

В качестве дополнительных статистических показателей, характеризующих результаты моделирования, вычисляются дисперсия выборки Dx_i , среднее квадратическое отклонение σ_i и дисперсия математического ожидания (средняя ошибка выборочной средней Sx_i). В таком случае дисперсию выборки можно рассматривать как меру риска для инвестора.

Другим важным направлением применения разработанной имитационной модели в проектах модернизации и переоборудования отечественных судов

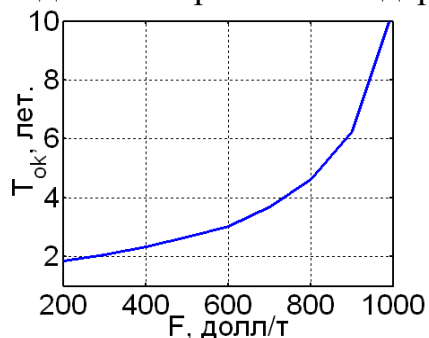


Рис. 4. Зависимость срока окупаемости от стоимости топлива

старой постройки (70 – 80 годы прошлого столетия), является проведение экономико-математического анализа и анализа технических решений, полученных на начальных стадиях модернизации и переоборудования указанных судов, когда определяется целесообразность выполнения этих работ.

Поскольку для заказчика большой интерес представляет выявление условий, при которых полученное решение является оптимальным или устойчивым, предусмотрена возможность оценки основных технических, экономических и эксплуатационных показателей функционирования судна при изменении условий его эксплуатации.

В качестве примера на рис. 4 приведена зависимость срока окупаемости от стоимости топлива.

В четвертой главе изложена методика обоснования типа и основных характеристик движительного комплекса в проектах модернизации СНРД, которая позволяет определить тип движительного комплекса, обеспечивающий наилучшие эксплуатационно-экономические показатели при эксплуатации судна в заданных условиях.

В качестве исходных данных выступают результаты имитационного моделирования либо показатели, полученные при реальной эксплуатации судна.

Основные положения предлагаемой методики базируются на методах теории принятия решений в условиях неопределенности, теории вероятностей, теории игр, теории статистических решений и математической статистики.

В работе сформулированы и рассмотрены одно- и многокритериальный подходы к обоснованию типа и характеристик движительного комплекса при выполнении проектов модернизации СНРД.

Формально в модели принятия решений функция полезности (потерь) представляется в виде платежной матрицы $n \times q$, где x_i ($i = 1, \dots, n$) - характеризует имеющиеся альтернативы (варианты движительного комплекса), S_j ($j = 1, \dots, q$) - состояния среды (режимы движения судна и выполняемые работы), u_{ij} - числовые значения функции полезности (выигрыша), потерь v_{ij} или риска r_{ij} .

Если через β_{ij} обозначить стратегию, при которой выигрыш будет максимальным, то значения матрицы рисков r_{ij} получаются путем вычитания из β_{ij} значений фактического выигрыша u_{ij}

$$r_{ij} = \beta_{ij} - u_{ij}. \quad (11)$$

При оценке имеющихся альтернатив рассматривались следующие ситуации информированности *лица, принимающего решение* (ЛПР), о состояниях среды:

1. ЛПР известно априорное распределение вероятностей $p = (p_1, \dots, p_q)$, где $(0 \leq p_i \leq 1)$, состояний среды $s_j \in S$.
2. Среда активно противодействует целям ЛПР.
3. Промежуточная информированность между первой и второй ситуациями – условия неопределенности.

Требуется решить задачу выбора – определить лучшую альтернативу $x_i \in X$, при которой рассматриваемая система, в нашем случае судно, имеет наибольшую полезность U или наименьшие потери V .

Для решения поставленной задачи использовались специальные критерии оценки качества характеристик объекта, разработанные в рамках теории статистических решений, с помощью которых каждое из рассматриваемых решений x_i , описываемое вектором $u(x_i, s_j)$ или $v(x_i, s_j)$, получает итоговую скалярную оценку.

При многокритериальном подходе наличие нескольких критериев выбора оптимальных альтернатив вносит дополнительную неопределенность, вследствие чего имеет место неопределенность двух видов:

- 1) неопределенность, обусловленная отсутствием или недостатком информации о состояниях среды;
- 2) неопределенность, причиной которой является наличие нескольких принципов оптимальности.

Для решения многокритериальной задачи в условиях неопределенности использовалась двухуровневая модель принятия решений.

На нижнем уровне решается задача оценки вариантов решений x_i для каждой характеристики z_k , для чего используются соответствующие критерии либо их комбинация, что позволяет формально избавиться от случайных составляющих, связанных с недостатком информации о поведении среды.

На верхнем уровне решается задача преодоления многокритериальности, заключающаяся в переходе от векторной оценки решений x_k к скалярной путем построения соответствующей функции качества.

Для построения функции качества был использован принцип идеальной точки (12), согласно которому оптимальным считается решение, расположенное в пространстве параметров ближе всего к идеальной точке z^*

$$x^* = \arg \min_{x_i \in X} \sum_{k=1}^m \gamma_k^2 (z_k^* - z_k)^2, \quad (12)$$

где γ_k – вектор весовых коэффициентов.

В общем виде статистическую модель многокритериального принятия решений в условиях неопределенности можно представить в виде следующей

последовательности действий:

1. Сформировать множество решений X .
2. Определить множество состояний среды S .
3. Определить числовые значения характеристик z_k ($k = 1, \dots, m$) в виде функции полезности $u(x_i, s_j)$ или потерь $v(x_i, s_j)$.
4. Оценить информированность ЛПР относительно состояний среды.
5. Для заданной ситуации выбрать критерии оценки характеристик z_k их функций полезности $u(x_i, s_j)$ или $v(x_i, s_j)$, ($k = 1, \dots, m$).
6. Выбрать или сконструировать критерий совместной оценки характеристик z_k .
7. Решить задачу выбора и выполнить анализ полученного решения.
8. Оценить устойчивость решения.

Принятие решений, исходя из принципов оптимальности, нельзя считать окончательным и самым лучшим. Однако предлагаемый подход позволяет оценить достоинства и недостатки рассматриваемых вариантов движителей, возможный выигрыш и потери, упорядочить их по уровню значимости, что способствует повышению качества принимаемых технических решений.

Предлагаемая методика является универсальной и может быть использована для обоснования типа и основных характеристик других элементов и подсистем при модернизации и переоборудовании судов различного назначения.

В пятой главе рассмотрены вопросы организации производства и изготовления движительного комплекса с использованием современных систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа (CAD/CAM/CAE-систем). Рассмотрены концептуальная модель и вероятностный подход к выбору типа и основных характеристик движительного комплекса с учетом требований, предъявляемых к надежности функционирования, при разработке проектов модернизации и переоборудования судов.

В работе рассмотрена параметрическая надежность, т.е. свойство судна сохранять значения технических параметров и параметров функционирования, обеспечивающих его работоспособность в заданных пределах. Таким образом, параметрическая надежность характеризует эксплуатационную надежность судна, при этом считается, что техническая надежность обеспечена, т.к. без удовлетворения требований к последней нельзя рассматривать и эксплуатационную надежность.

Математическую интерпретацию рассматриваемой задачи в общем виде можно представить следующим образом. Рассматриваемая система S находится в некотором начальном состоянии $S_0 \in \bar{s}_k$ и является управляемой.

Под воздействием органа, осуществляющего управление X , система S переходит из первоначального состояния S_0 в конечное состояние $S_k \in \bar{s}_k$ по некоторой траектории $S_t \in \bar{s}_t$, где \bar{s}_k и \bar{s}_t - область допустимых конечных состояний, характеризующих возможные траектории движения системы. Эффективность управления X определяется функцией $F(X)$. При этом каждой точке $S_t \in \bar{s}_t$ траектории соответствует определенное значение функции $F(X)$.

Задачу обоснования типа и характеристик движительного комплекса, решаемую в рамках проекта модернизации судна, с учетом параметрической надежности можно сформулировать следующим образом. Необходимо найти такое управляющее воздействие X^* (траекторию движения S_t^*) из множества X , при котором параметрический функционал $F(X^*)$, отражающий целевую направленность системы, достигает экстремального значения при заданных условиях эксплуатации.

Показателем, определяющим параметрическую надежность, является вероятность безотказной работы $P_{LT}(X)$, т.е. вероятность того, что параметры, определяющие работоспособность судна, находятся в пределах допустимой области в течение заданного промежутка времени $t \in (0, T)$.

Вероятность безотказной работы судна за рассматриваемый период времени определяется зависимостью

$$P_{LT}(X) = \prod_{j=1}^m P_j(x), \quad (13)$$

где $P_j(x)$ - вероятность удовлетворения j -го условия работоспособности.

Для получения реализаций выходных параметров и вероятностей, соответствующих каждому рассматриваемому показателю эффективности

$$P_j(x) = P\{y_j(x, l, t) \geq a_j\}, j = 1, \dots, m, \quad (14)$$

используется имитационная модель, моделирующая процесс функционирования судна с учетом особенностей, присущих этому типу судов.

Функция вероятности $P_j(x)$ в результате моделирования представляется в виде гистограммы с плотностью распределения $f_j(y)$.

Тогда вероятность удовлетворения j -го условия работоспособности определяется выражением

$$P_j(x) = \int_{a_j}^{\infty} f_j(y) dy, j = 1, \dots, m. \quad (15)$$

Решение задачи по критерию вероятности безотказной работы запишется в виде

$$P_{LT}(X^*) = \max P_{LT}(x) \quad (16)$$

Для реализации предлагаемой методики использовалась СКМ MATLAB. Применение методики показано на примере буксирных судов.

В качестве оптимизируемых переменных приняты тип движителя и его характеристики: D - диаметр, P/D и A_e/A_0 - шаговое и дисковое отношения.

На рис. 5 приведена упрощенная блок-схема оптимизационно-имитационной модели, которая состоит из трех контуров. Первый контур (внешний) характеризует уровень согласования решений и позволяет вносить корректировку в исходную информацию и требования к судну. Вторым контуром - уровень оптимизации элементов подсистем, включает в себя оптимизационную модель, а также ряд дополнительных модулей, необходимых для работы основного алгоритма. Третий контур (внутренний) - уровень имитационного моделирования.

Результатами моделирования являются:

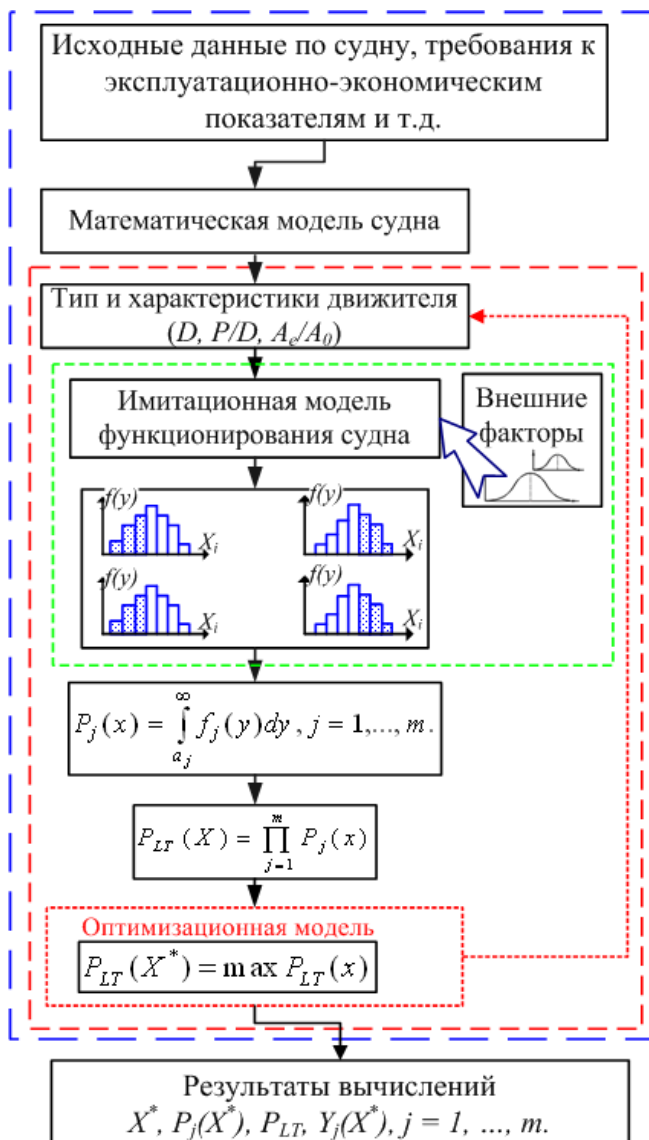


Рис. 5. Блок-схема оптимизационно-имитационной модели

Пользователь может наблюдать работу алгоритма оптимизации в динамике. На экране появляются гистограммы, по одной для каждого компонента вектора целей, и график, содержащий столбчатые диаграммы, отображающие текущие значения вероятностей P_j . В левом нижнем углу формы приводятся текущие числовые значения μ_j и P_j .

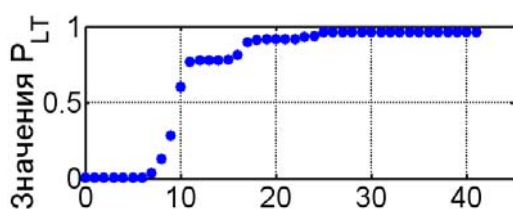


Рис. 6. Поиск оптимального решения

- вектор оптимальных сочетаний оптимизируемых переменных, характеризующих тип и основные характеристики движителя X^* ;
- значения вероятностей удовлетворения j -го условия работоспособности $P_j(X^*)$;
- значение P_{LT} ;
- значения вспомогательных величин (статистические характеристики) $Y_j(X^*)$, характеризующих эффективность функционирования судна (экономические, технические и эксплуатационные показатели).

В качестве алгоритма оптимизации использовался алгоритм сеточного адаптивного поиска (MADS - *Mesh Adaptive Direct Search*). На рис. 6 приведен пример работы указанного алгоритма при решении задачи оптимизации характеристик двигательного комплекса судна, где точками изображены значения мультипликативной целевой функции P_{LT} , рассчитанной по зависимости (16) на каждой итерации.

Пользователь может наблюдать работу алгоритма оптимизации в динамике.

Путем изменения требований, предъявляемых к значениям параметров функционирования, можно изменять значения целевой функции, выражаемой через вероятность P_{LT} , характеризующей надежность функционирования судна с определенным типом движителя.

На рис. 7 приведен пример работы оптимизационно-имитационной модели. Заданы требования к прибыли (а), сроку окупаемости (б) и приведенным затратам (в). Во время выполнения вычислений гистограммы (а, б, в) перемещаются вдоль оси абсцисс и одновременно изменяется их форма. Высоты столбцов, изображенных на рис. 7, г, характеризуют текущие значения вероятностей $P_j(X)$.

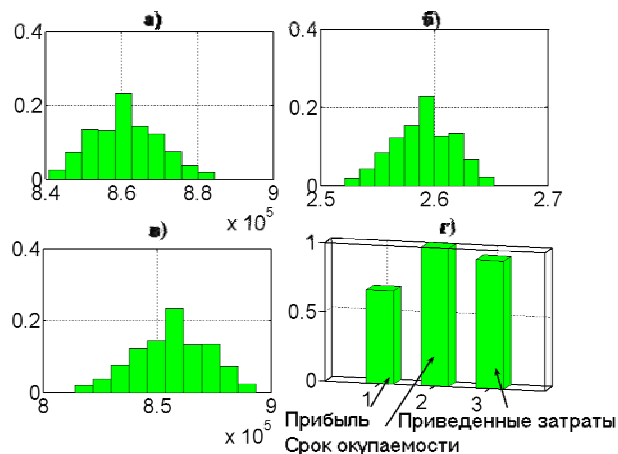


Рис. 7. Пример работы модели

предполагает проведение численного эксперимента. Информация, полученная на этом этапе, позволит оценить влияние принятого решения на физические эффекты, возникающие в результате его реализации, например при выполнении размерной модернизации судов, замене движителя, изменении формы носовой или кормовой оконечностей судна и т.д.

Компьютерный эксперимент является более быстрым, дешевым, а иногда и единственно возможным.

В представленной работе использовалась двухуровневая схема проектирования и технологической подготовки производства (рис. 8). Первый уровень –



Рис. 8. Двухуровневая схема организации работ по проектированию и подготовке производства

уровень моделирования - включает операции от математического до численного моделирования с использованием CFD

(*Computational of Fluid Dynamics*) технологий и принятием соответствующего решения. Второй уровень – технологический, основная задача которого состоит в подготовке необходимых моделей, разработке рабочей конструкторской документации и подготовке данных для станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

К программным продуктам, использованным на первом уровне, относятся: Matlab, Solid Works, Gambit и Fluent. Перечень программных продуктов, использованных на втором уровне: Sea Solution, Sea Solid и Sea Nest.

Все этапы первого уровня, за исключением численного моделирования с использованием пакета Fluent, а также второго уровня выполнялись на рабочих станциях повышенной производительности. Численное моделирование выполнено на многопроцессорной вычислительной станции МВС – 15000, состоящей из 13 узлов, каждый узел содержит два ядра и 4 ГБ оперативной памяти и Swap в несколько терабайт.

В качестве объекта исследования принимался движительный комплекс с ВФШ в направляющей насадке. По предлагаемой методике выполнена последовательность этапов, включающая: разработку трехмерных твердотельных моделей, проработку расположения движительного комплекса в корме судна (Solid Works), создание сеточных моделей для винта и корпуса буксира (Gambit) и расчет гидродинамических характеристик винта и сопротивления судна (Fluent).

Для направляющей насадки и стабилизатора с помощью семейства программ Sea Solution (Sea Solution, Sea Solid, Sea Nest) созданы модели и произведено их насыщение внутренним набором, получены соответствующие развертки деталей, документация для изготовления гибочных шаблонов, оценены массогабаритные характеристики, получены карты раскроя с указанием маршрутов и последовательность резки для станков с ЧПУ.

Результаты проделанной работы схематично изображены на рис. 9.

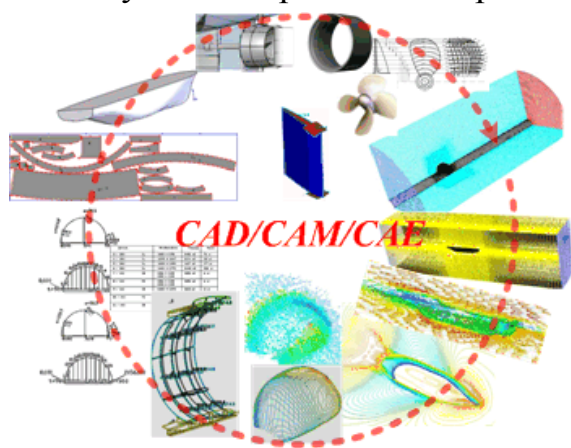


Рис. 9. Результаты использования CAD/CAM/CAE-систем

В распоряжении конструктора имеются не только трехмерные модели и соответствующие чертежи, но и полный цифровой макет изделия с подробной информацией о его свойствах и качествах.

Таким образом, автоматизированное проектирование подразумевает комплексный подход к выполнению проекта модернизации судна и включает совокупность CAD/CAM/CAE-систем.

На все использованное программное обеспечение имеются соответствующие лицензии.

Основные выводы и результаты

В представленной диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, имеющая прикладное значение - совершенствование методов проектирования, модернизации и переоборудования судов. Предложены решения, направленные на автоматизацию процессов модернизации и переоборудования судов, технологической подготовки судоремонтного производства, а также научное обоснование основных характеристик и элементов их подсистем.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Регрессионные зависимости для расчетов сопротивления движению судов и гидродинамических характеристик гребных винтов, позволяющие автоматизировать процесс оценки ходовых качеств в проектах модернизации и переоборудования судов.

2. Разработана математическая модель пропульсивного комплекса, предназначенная для оценки ходовых качеств судов, оборудованных различными типами движителей.

3. Разработан комплекс программ, позволяющих выполнять оценочные расчеты ходовых качеств и эксплуатационно-экономических показателей судов, оборудованных различными типами движителей, а также проектировочные расчеты гребных винтов с учетом проектного режима движения.

4. Разработана имитационная модель функционирования СНРД (на примере буксирного судна), учитывающая случайные факторы, оказывающие влияние на судно в процессе эксплуатации.

5. Разработана методика обоснования типа и характеристик движительного комплекса в проектах модернизации СНРД.

6. Предложен вероятностный подход к обоснованию типа и характеристик движительного комплекса с учетом требований, предъявляемых к надежности функционирования модернизируемого судна.

7. Предложена методика автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства движительного комплекса, основанная на использовании современных САД/САМ/САЕ-систем.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Китаев, М.В. Учет требований к параметрической надежности при проектировании судов [Текст] / М.В. Китаев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2007.- № 10. - С. 23 - 24.

2. Китаев, М.В. Повышение экономической эффективности промысловых судов путем модернизации движительного комплекса [Текст] / М.В. Китаев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2008.- № 9. - С. 253 - 254.

Публикации в других изданиях

1. Китаев, М.В. Выбор типа пропульсивного комплекса для судов с несколькими режимами движения [Текст] / С.В. Антоненко, М.В. Китаев // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: Сб. науч. тр. / под ред. Быкова В.И., Луценко В.Т., Турмова Г.П. Вып. 46. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. - С. 38 - 47.

2. Китаев, М.В. Задача выбора оптимального пропульсивного комплекса в теории проектирования судов [Текст] / С.В. Антоненко, М.В. Китаев // Материалы региональной науч. техн. конф. «Молодежь и научно-технический прогресс». Владивосток, ДВГТУ, 2006. - С. 42 – 44.

3. Китаев, М.В. Общие положения и подход к решению задачи выбора пропульсивного комплекса для судов с несколькими режимами движения [Текст] / С.В. Антоненко, М.В. Китаев // Материалы VII международной науч. практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока», (FEBRAT - 2007), Академия транспорта РФ, Владивосток, 2007. - С. 12 – 14.

4. Китаев, М.В. Проектирование объектов морской техники с учетом параметрической надежности [Текст] / В.Г. Бугаев, М.В. Китаев // Сб. докладов. Всероссийская науч. техн. конф. «Приоритетные направления развития науки и технологий». Тула. - РХО им. Д.И. Менделеева, 2007. - С. 184 – 186.

5. Китаев, М.В. Учет требований к надежности функционирования при проектировании морских судов [Текст] / М.В. Китаев // Материалы VII международной науч. практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока», (FEBRAT - 2007), Академия транспорта РФ, Владивосток, 2007. - С. 102 – 104.

6. Китаев, М.В. Некоторые аспекты проектирования движительных комплексов судов с несколькими режимами движения [Текст] / С.В. Антоненко, М.В. Китаев // Мореходство и морские науки-2008: избранные доклады Первой Сахалинской региональной морской науч. техн. конф. (12 февраля 2008 г.) / под ред. Храмушина В. Н. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2008. - С. 52 – 62.

7. Kitaev, M.V. Design features of screw propeller designing for ships with a several regime of movement [Text] / S.V. Antonenko, M.V. Kitaev // 20th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure (TEAM - 2006), Seoul, Korea, October 15 – 18, 2006. - P. 407 – 413.

8. Kitaev, M.V. Some Aspects of Screw Propeller Designing for Ships with a Several Regime of Movement // The 3rd Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics (APHydro-2006), Shanghai, China, June 27 – 28, 2006. - P. 71 – 75.

9. Kitaev, M.V. Some aspects of sea tug propeller choice [Text] / S.V. Antonenko, M.V. Kitaev // The Asialink-EAMARNET International Conference on Ship Design, Production and²⁴ Operation, Harbin, China, January 17 – 18, 2007. - P. 378 - 384.

10. Kitaev, M.V. Research the Initial Stage of Ships Maneuvering with Point of View the Navigation Safety [Text] / V.M. Dorozhko, S.V. Antonenko, M.V. Kitaev // The 4th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics (APHydro-2008), Taipei, Taiwan, June 16 – 18, 2008. - P. 129 – 132.

Китаев Максим Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ТИПА И ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖИТЕЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА В ПРОЕКТАХ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОВ
С НЕСКОЛЬКИМИ РЕЖИМАМИ ДВИЖЕНИЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 23.10.2008 г. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 1,39. Уч. -изд. л. 1,29.
Тираж 100 экз. Заказ № 052

Издательство ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10
Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10