

**УКРАИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени адмирала МАКАРОВА  
Д 38.060.01**

**ДАМ СУАН ТУАН**

**УДК 629. 5.02**

**ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КОРАБЛЕЙ БЕРЕГОВОЙ ОХРАНЫ**

**Специальность 05.08.03 - Механика и конструирование судов**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Николаев - 2003**

Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Украинском государственном морском техническом университете имени адмирала Макарова Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель Доктор технических наук, профессор Некрасов Валерий Александрович, Украинский государственный морской технический университет, заведующий кафедрой теории и проектирования судов

Официальные оппоненты:

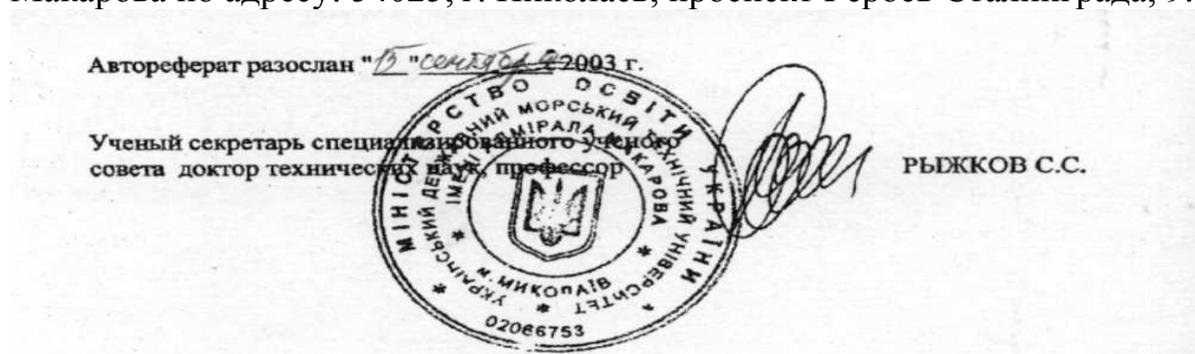
Доктор технических наук Соломенцев Олег Иванович, Украинский государственный морской технический университет Министерства образования и науки Украины, главный научный сотрудник

Кандидат технических наук, доцент Бондарь Валентин Максимович, Одесская национальная морская академия Министерства образования и науки Украины, заведующий кафедрой теории и устройства судна

Ведущая организация: Одесский национальный морской университет Министерства образования и науки Украины, г. Одесса

Защита состоится 20 октября 2003 г. в 14 часов на заседании специализированного ученого совета Д 38.060.01 Украинского государственного морского технического университета по адресу: 54025, г. Николаев, проспект Героев Сталинграда, 9, ауд. 360.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинского государственного морского технического университета имени адмирала Макарова по адресу: 54025, г. Николаев, проспект Героев Сталинграда, 9.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы:** Проблема береговой охраны государства требует не только проектирования, постройки и эксплуатации судов специального назначения, называемых патрульными кораблями, но и выполнения специальных операций, которые осуществляются Таможенным управлением Морской полицией и другими организациями. В круг специальных оперативных задач береговой охраны входят борьба с контрабандой и прибрежным пиратством, защита морских прибрежных промыслов, портов, речных, морских сообщений, прибрежное патрулирование. Для того, чтобы в современных условиях корабли береговой охраны оставались наиболее эффективным средством выполнения этих операций, они должны развивать достаточно большую скорость хода при жестких погодных условиях (особенно в тропических районах океана) и нести соответствующее вооружение, препятствующее проникновению нарушителей и выполнению нарушителями противоправных операций в охраняемой зоне.

Роль проектирования кораблей береговой охраны в решении этой проблемы особенно велика, так как уже на начальных стадиях проектирования, за счет достигаемого технического совершенства новых кораблей береговой охраны можно сэкономить значительные средства на их создание и обслуживание. Кроме того, учтя все особенности функционирования кораблей в современных условиях эксплуатации и получив на этой основе надлежащее оптимальное решение, можно существенно увеличить эффективность использования кораблей по назначению.

**Связь с научными программами, планами, темами.** Диссертация включает результаты исследований, полученных при выполнении фундаментальной г/б научно-исследовательской работы "Совершенствование мореходных качеств и проектирования судов" №0100U001899 Министерства образования и науки Украины, а также в соответствии с государственной программой "Развития океанской экономики и строительства судов Вьетнама", в рамках научно-исследовательской работы "Создание систем автоматизированного проектирования современных судов Вьетнама".

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является совершенствование процесса проектирования патрульных кораблей для обеспечения надежной береговой охраны в современных условиях взаимодействия с нарушителями Закона.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи

1. Создать модель функционирования кораблей береговой охраны (КБО), которая учитывает их взаимодействие с судами-нарушителями (СН), как во времени, так и в пространстве охраняемой зоны и обеспечивает получение более достоверной по сравнению с существующей оценки общей характеристики функционирования КБО - надежности выполнения охранных операций.

2. Разработать способ оценки эффективности выполнения кораблями охранных операций с учетом вкладываемых средств в создание и эксплуатацию КБО и подобрать соответствующий критерий эффективности

3. Сформулировать и решить оптимизационную задачу главных элементов КБО, обеспечивающую выполнение критерия эффективности

4. Разработать методику выбора основных проектных характеристик КБО на начальных стадиях проектирования.

**Объектом исследования** является корабль береговой охраны для защиты экономического прибрежного пространства государства

**Предмет исследования** - тактико-технические характеристики корабля береговой охраны, обеспечивающие наивыгоднейшую комбинацию ресурсного показателя и показателя эффективности.

**Методы исследований.** Теоретической и методологической основой исследования послужили работы отечественных и зарубежных ученых в области исследования операций, проектирования кораблей и математического программирования. Ярко выраженный случайный характер условий эксплуатации кораблей береговой охраны и неопределенность информации, положенная в основу военно-экономических нормативов, которые используются при разработке новых проектов для определения стоимости проектируемых объектов, обусловили использование методов теории случайных функций как при формулировке, так и при решении задачи, посвящаемой определению основных проектных характеристик кораблей береговой охраны. При этом выбран один из наиболее перспективных в настоящее время инструментов исследования сложных динамических систем в стохастических условиях создания и функционирования - аппарат теории непрерывных марковских процессов и имитационное моделирование. Поиск оптимальных характеристик кораблей береговой охраны произведен с помощью алгоритмов нелинейного программирования на множестве значений вероятностных характеристик стоимости и функциональной надежности КБО.

**Научные результаты и их новизна.** В данной работе:

1. Впервые применен аппарат теории непрерывных марковских случайных процессов для решения задач функционирования и определения показателей эффективности выполнения КБО основных охранных операций (обнаружение и задержание нарушителей), который дал возможность учесть такие особенности эксплуатации современных КБО, как случайный характер их встреч с судами-нарушителями в пространстве охраняемой зоны, стохастический характер ветро-волновых воздействий в охраняемой зоне, изменчивость параметров судов-нарушителей и их технического оснащения, сохранив при этом решение вопросов влияния характеристик средств обнаружения, вооружения и типа корабля на исход выполнения этих операций.

2. Составлена методика определения стоимости КБО, использующая аппарат преобразования законов распределения исходных цен на

составляющие создания и эксплуатации корабля в закон распределения итоговой стоимости корабля за весь его жизненный цикл.

3. На основе решения задачи функционирования КБО и методики определения его стоимости составлен критерий оценки "стоимость-эффективность" корабля, определяющий эффективность вложенных средств в выполнение основных охранных операций КБО.

4. Реализован комплексный подход к определению оптимальных характеристик КБО, включающий совместное решение внешней и внутренней задач его проектирования, учет взаимного влияния надежности и стоимости корабля за весь его жизненный цикл на значение критерия эффективности, а также учет влияния вариаций цен на критерий вида "стоимость-эффективность" использованный при проектировании корабля.

Научная новизна полученных результатов подтверждается практически полным отсутствием научных работ, посвященных использованию методов теории непрерывных марковских случайных процессов и статистических испытаний (метода Монте-Карло) в моделях функционирования и проектирования кораблей береговой охраны.

**Практическое значение полученных результатов.** Полученные автором результаты имеют как теоретическое, так и прикладное значение. Теоретическое значение результатов диссертационной работы состоит в обобщении моделей функционирования КБО и методик определения характеристик КБО, которые могут быть использованы в практике исследовательского проектирования не только КБО, но и морских судов, как в процессе предконтрактной проработки проектов, так и на других ранних стадиях проектирования кораблей и судов. Прикладное значение результатов состоит в создании программных средств для автоматизированного определения основных характеристик корабля на начальных этапах проектирования. Применение этих средств открывает новые возможности исследований и позволяет существенно улучшить эффективность проектных работ за счет снижения трудоемкости и продолжительности расчетов.

Разработанный комплекс программ "PatrolShip" и методика выбора основных проектных характеристик патрульных кораблей внедрены и использованы в порядке опытной эксплуатации в Казенном исследовательско-проектном центре кораблестроения Украины, Черноморском судостроительном заводе "Лиман", Кораблестроительном научно-технологическом институте "SHIPSCITECH". Въетнама и в учебном процессе УГМТУ при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Предложенный комплексный подход к определению оптимальных проектных характеристик КБО, включающий использование новой модели взаимодействия КБО с судами-нарушителями во всевозможных условиях охраны заданного района учет взаимного влияния факторов надежности охранных операций и стоимости за весь жизненный цикл КБО на эффективность КБО, а также учет влияния фактора вариаций стоимости на

показатель эффективности, обеспечивает получение более общих и более достоверных, по сравнению с существующими, оценок надежности функционирования КБО и его стоимости за весь жизненный цикл. Следствием этого является создание соответствующего проекта КБО.

### **На защиту выносятся следующие основные результаты работы**

1. Построенные с помощью применения аппарата теории управляемости корабля, теории мореходности корабля и теории непрерывных марковских случайных процессов модель функционирования КБО и алгоритм определения показателей эффективности выполнения кораблем основных охранных операций по обнаружению и задержанию судов-нарушителей, которые позволили учесть особенности эксплуатации современных КБО и отразить при этом влияние средств обнаружения, энергетического оснащения, вооружения и типа корабля на исход выполнения охранных операций.

2. Составленная методика определения стоимости КБО за весь его жизненный цикл, использующая аппарат преобразования законов распределения исходных цен в закон распределения итоговой стоимости корабля.

3. Использование на основе решения задачи функционирования КБО и методики определения его стоимости критерия оценки "стоимость-эффективность" корабля, определяющего эффективность вложенных средств в выполнение основных охранных операций КБО.

4. Реализация комплексного подхода к определению оптимальных характеристик КБО, включающая совместное решение внешней и внутренней задач его проектирования, учет факторов надежности и стоимости корабля за весь его жизненный цикл, а также фактора вариаций стоимости на эффективность корабля

5. Созданная база данных по современным кораблям береговой охраны 1980—2002 лет постройки, на основе которой получены формулы для приближенного определения главных размерений кораблей береговой охраны, проанализированы их характеристики и особенности архитектурно-конструктивных типов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные теоретические положения и результаты диссертации докладывались и получили положительную оценку на научном семинаре кафедры теории и проектирования судов УГМТУ (2001), научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава УГМТУ (2002) и научном семинаре кафедры теории и проектирования судов Одесского Национального Морского Университета (2003).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 работы без соавторов, из них 3 в сборниках научных трудов УГМТУ и 1 в журнале The Transport Journal Вьетнама.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 114 наименований и четырех приложений. Содержание диссертации изложено на 152 страницах

машинописного текста и 47 страницах приложений, включая 29 рисунков и 12 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** раскрывается состояние научной задачи, обоснована актуальность темы, теоретическое и практическое значение диссертации, сформулирована цель и основные задачи исследований, показана научная новизна работы.

**В первом разделе** приведены результаты анализа кораблей береговой охраны и перспективы их развития, особенности архитектурно-конструктивных типов (АКТ) современных патрульных кораблей и основных способов повышения их ходкости и мореходности. Для этого соискателем была создана база данных по кораблям постройки 1980-2002 гг., на основе которой:

- рассмотрены основные тенденции современного кораблестроения при выборе главных размерений кораблей береговой охраны и их соотношений. Показано, что для современных патрульных кораблей характерно уменьшение водоизмещения и отношения  $L/B$ , увеличение отношений  $B/T$ ,  $H/T$  и скорости полного хода. Основным АКТ корабля (водоизмещением 1000 - 1500 т) является патрульное судно с артиллерийским вооружением.

- получены следующие формулы для приближенного определения основных характеристик кораблей береговой охраны:

$$L_{max} = 5,396D^{0,369}; L = 18,887204 + 0,081938D; B = -1,997 + 4,363 \lg(D);$$

$$T = -0,808 + 1,293 \lg(D); H = 3,1165205 + 0,0052336D.$$

где  $L_{max}$  - наибольшая длина, м;  $L$  - длина по конструктивной ватерлинии, м;  $B$  - ширина, м;  $T$  - осадка, м;  $H$  - высота борта, м;  $D$  - водоизмещение корабля, т.

По результатам материалов главы обоснован АКТ корабля и получены приближенные зависимости для определения основных характеристик кораблей, которые были использованы в математической модели и при формировании начальной точки поиска оптимального решения

**Второй раздел** посвящен анализу задач функционирования и проектирования кораблей береговой охраны и выбору основных направлений исследования. В нем отмечается, что в пространстве охраняемой зоны движение КБО и соответствующая реакция СН могут рассматриваться не только с помощью аппарата дискретных цепей Маркова, как это принято в настоящее время, но с помощью теории непрерывных марковских случайных функций. При этом основной задачей КБО является максимизация вероятности задержания нарушителей. Решение этого вопроса является итоговым результатом общей задачи функционирования КБО.

Формулировка общей задачи функционирования кораблей береговой охраны может быть сведена к задаче взаимодействия единичного КБО со всей возможной совокупностью судов-нарушителей в пределах отведенного участка охраняемой зоны.

Вслед за решением проблемы функционирования проблема проектирования кораблей береговой охраны, как и соответствующая проблема проектирования обычного судна, может решаться на двух условных уровнях - уровнях внешней и внутренней задач проектирования. Внешняя задача проектирования обычно связывается с разрешением вопросов пополнения флота. В результате ее решения определяются водоизмещение, скорость хода, состав вооружения и количество кораблей, проекты которых необходимо разработать. Целью решения внутренней задачи, в соответствии с определенными на этапе решения внешней задачи водоизмещением и скоростью хода, является выбор оптимальных главных размерений и коэффициентов полноты корабля. Однако эти две задачи лучше рассматривать и решать совместно, потому что в результате такого решения вместе с оптимизацией водоизмещения, скорости хода, параметров вооружения, средств обнаружения и других характеристик внешней задачи будет производиться и определение оптимальных главных размерений корабля, параметров формы его корпуса и других характеристик корабля как инженерного сооружения.

Вследствие этого формулировка оптимизационной задачи проектирования КБО может быть сведена к традиционному определению такого вектора независимых переменных  $X$ , при котором достигается экстремум некоторой целевой функции  $f(X, U)$  и удовлетворяются требования к качествам корабля:

$$\left. \begin{aligned} f(X, U) &\rightarrow \min \\ g_j(X, U) &\geq a_j, \quad j = 1, 2, \dots, k \\ X_i^{\min} &\leq X_i \leq X_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $U$  - вектор параметров корабля;  $k$  - количество ограничений задачи;  $a_j$  - нормы и уровни допустимых значений качеств корабля в соответствии с нормативными документами и эксплуатационными требованиями;  $n$  - количество независимых переменных задачи;  $X_i^{\min}$ ,  $X_i^{\max}$  - соответственно нижняя и верхняя допустимая граница изменения  $i$ -ой независимой переменной;  $g_j(X, U)$  - функция  $j$ -го ограничения.

Рассмотрение возможных целевых функций оптимизационной задачи проектирования КБО, обычно формируемых на основе показателей его функциональной и экономической эффективности, указывает на то, что все они являются функциями многих случайных величин, каждая из которых может быть представлена своим законом распределения. Поэтому постановка и решение оптимизационной задачи на основе использования вероятностных характеристик случайных величин в настоящее время является неизбежной. Также неизбежной становится формулировка и решение в классе случайных функций задач функционирования и определения стоимости КБО. Поэтому в работе проанализированы

известные на данное время подходы к формулировке и решению стохастической задачи проектирования кораблей и судов: применение алгоритмов теории массового обслуживания, сведение стохастической задачи к детерминированному эквиваленту, применение теории игр, использование имитационного моделирования. Отмечено что при проектировании КБО, в части задач функционирования, доминирует использование аппарата дискретных цепей Маркова и других простейших алгоритмов теории массового обслуживания. Все основные зависимости строятся по временной переменной. Взаимодействие КБО с СН в пространстве охраняемой зоны остается недостаточно исследованным. В части определения стоимости КБО обычно используется детерминистический подход. Влияние характеристик распределений исходных случайных данных на значение оптимума и влияние типа критерия оптимизации на оптимальные значения характеристик КБО не определяется.

Дополнительно проведенный обзор научных работ, посвященных применению имитационного моделирования в теории проектирования кораблей и судов как одного из универсальных и перспективных методов, показал, что этой теме посвящено незначительное количество доступных работ и ни в одной из них нет описания моделей функционирования и проектирования кораблей береговой охраны.

На основе материалов раздела были поставлены первоочередные задачи исследования.

Третий раздел посвящен формулировке и решению задачи функционирования КБО. В нем рассматриваются:

1. Охраняемая зона (ОЗ) размерами  $L_{O3} \times B_{O3}$ , закрепленная за КБО (см. рис.1).

2. Погодные условия в охраняемой зоне, которые задаются долговременными (режимными) распределениями характеристик ветра и волнения

3. Главные задачи функционирования корабля в охраняемой зоне, которыми являются патрулирование, обнаружение нарушителя, его преследование и задержание. Интенсивность режима функционирования КБО определяется характеристиками интенсивности временного потока нарушителей на интервале времени, равном времени непрерывного дежурства КБО в охраняемой зоне (~ 15 суток). Поток нарушителей в охраняемую зону на большом промежутке времени (порядка срока службы КБО) считается близким к пуассоновскому. Так, если среднее значение потока нарушителей оказывается равным 72 единицы в год, то на интервале времени 15 суток оно становится равным 3, а максимальное количество нарушителей за это же время (15 суток) составит величину порядка 8 единиц. Время преследования судна-нарушителя кораблем не превышает 1 час, катером-перехватчиком - 2... 3 часа, вертолетом - 2... 3 часа.



Рис. 1. Расположение КБО и СН в ОЗ

4. Характеристики судов-нарушителей, которые определяются законами распределения его водоизмещения (длины) и максимальной скорости хода.

5. Взаимное расположение КБО и СН. В момент обнаружения кораблем судно-нарушитель может находиться в произвольной точке охраняемой зоны. Координаты первоначального расположения КБО и СН  $\xi_{к0}, \eta_{к0}$  и  $\xi_{н0}, \eta_{н0}$  задаются своими распределениями, в простейшем случае - равномерными.

6. Взаимодействие КБО и СН. В соответствии с теорией управляемости корабля положение КБО и СН в ОЗ в каждый момент времени однозначно определяется параметрами криволинейного движения  $\xi_k, \eta_k, \varphi_k$  и  $\xi_n, \eta_n, \varphi_n$ , которые связаны с углами курса, углами дрейфа, и угловыми скоростями вращения КБО  $\varphi_k, \beta_k, \omega_k$  и СН  $\varphi_n, \beta_n, \omega_n$  известными соотношениями. Эти параметры в общем случае отыскиваются с помощью решения системы уравнений управляемости КБО и СН на волнении:

$$\left. \begin{aligned} \bar{F}_k(\dot{\nu}_k, \dot{\beta}_k, \dot{\omega}_k, \nu_k, \beta_k, \omega_k) &= 0; \\ \bar{F}_n(\dot{\nu}_n, \dot{\beta}_n, \dot{\omega}_n, \nu_n, \beta_n, \omega_n) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\nu_k, \nu_n$  - линейная скорость КБО и СН соответственно.

На основе решения системы уравнений управляемости (2) определяется расстояние между кораблем береговой охраны и судном-нарушителем  $S = \sqrt{(\xi_k - \xi_n)^2 + (\eta_k - \eta_n)^2}$  при следующих начальных условиях задачи движения:  $S = S_0$  при  $t = t_0$ , где  $S_0 = \sqrt{(\xi_{к0} - \xi_{н0})^2 + (\eta_{к0} - \eta_{н0})^2}$ , а также отыскиваются такие параметры мореходности, как величины потерь скорости КБО и СН при ходе на волнении, коэффициенты влияния качки на работу средств обнаружения и задержания судна-нарушителя и другие. При наличии на корабле береговой охраны оружия дистанция преследования  $S$  уменьшается на расстояние выстрела.

Рассматриваются предельные по курсовым углам случаи перехвата СН кораблем береговой охраны со скоростями, близкими к постоянным предельным значениям.

При близких или равных углах курса  $\varphi_K = \varphi_H = \varphi$  имеем

$$\frac{dS}{dt} = v_K - v_H$$

перехват СН осуществляется при движении практически по одной линии.

При углах курса  $\varphi_H = 90^\circ, \varphi_K = 0^\circ$

$$\frac{dS}{dt} = \sqrt{v_K^2 + v_H^2}.$$

Здесь перехват осуществляется при движении по линиям близким к перпендикулярным.

В первом случае «нагрузка» на корабль оказывается значительно большей.

7. Упрощение задачи взаимодействия. Упрощение задачи преследования сводится к составлению и решению следующего стохастического дифференциального уравнения для  $S$ :

$$\frac{dS}{dt} = a(S, t) + \psi(S, t) \quad (3)$$

где  $a(S, t)$  - регулярная составляющая;  $\psi(S, t)$  - пульсационная составляющая, обусловленная качкой КБО и СН под действием хаотических толчков ветра и волн

8. Задача определения вероятностных характеристик движения. Случайный характер начальных координат взаимного расположения КБО и СН в пространстве охраняемой зоны обуславливает введение в рассмотрение плотности вероятности координат  $f(\xi_k, \eta_k, \xi_n, \eta_n, t)$  в начальный и все последующие моменты времени, построение с помощью уравнений управляемости кинетического уравнения для плотности вероятности координат типа уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова и составление соответствующей краевой задачи для определения этой функции.

В упрощенной задаче преследования с помощью уравнения (3) для  $S$  известными способами строится следующее кинетическое уравнение для плотности вероятности  $f_1(S, t)$  расстояний между КБО и СН:

$$\frac{\partial f_1(S, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial S} a(S, t) f_1(S, t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial S^2} b(S, t) f_1(S, t), \quad (4)$$

где  $a(S, t)$  - коэффициент "сноса";  $b(S, t)$  - коэффициент "диффузии".

Если пренебречь добавками к  $S$ , обусловленными качкой, т.е. положить  $b(S, t) = 0$  и сохранить постоянными скорость хода корабля  $v_k = \text{const}$  и скорость хода судна-нарушителя  $v_n = \text{const}$ , тогда вместо (3) в условиях максимальной «нагрузки» на корабль имеем

$$\frac{dS}{dt} - (v_k - v_n) = 0. \quad (5)$$

Решением дифференциального уравнения (5) является известное выражение:

$$(S - S_0) = (v_k - v_n)(t - t_0), \quad (6)$$

положив в котором нулю итоговое расстояние  $S$  между КБО и СН можно определить время, необходимое для задержания нарушителя в результате его преследования кораблем береговой охраны:

$$T_3 = S_0 / (v_k - v_n). \quad (7)$$

С помощью полученного решения для дифференциального уравнения движения (5) строится решение кинетического уравнения (4) для плотности вероятности  $f_1(S, t)$ :

$$f_1(S, t) = \int_{S_0 \min}^{S_0 \max} f(S_0) f_1(S, t; S_0, t_0) dS_0, \quad (8)$$

где  $f(S_0)$  – плотность вероятности начальных расстояний между КБО и СН;  $f_1(S, t; S_0, t_0)$  – функция перехода, которая при  $(v_k - v_n) < 0$  определяется выражениями:

$$\begin{aligned} f_1(S, t; S_0, t_0) &= (S - S_0) + (v_k - v_n)(t - t_0) \quad \text{при } t - t_0 < T_3; \\ f_1(S, t; S_0, t_0) &= 0 \quad \text{при } t - t_0 > T_3. \end{aligned}$$

9. Задача обнаружения судна-нарушителя. Исходные данные: КБО движется вдоль зоны со скоростью патрулирования  $v_{кр} = \text{const}$ ; обнаруживая нарушителя с помощью радиолокатора.  $R_{рлс}$  – радиус действия радиолокатора КБО. СН движется поперек зоны с  $v_n = \text{const}$ . Характеристики средств обнаружения и скорости движения являются функциями погодных условий:  $R_{рлс} = R_{рлс}(h_{3\%})$ ;  $v_{кр} = v_k(h_{3\%}, D_K)$ ;  $v_n = v_n(h_{3\%}, D_H)$ , где  $h_{3\%}$  – характерная высота волнения,  $D_K$  и  $D_H$  – водоизмещения КБО и СН.

Минимальное время пребывания нарушителя в зоне определяется выражением

$$T_{\min} = \frac{B_{03} - \eta_{H0}}{v_n},$$

а дистанция обнаружения, с учетом скорости патрулирования, – формулой

$$D_{обн} = -[R_{рлс} + T_{\min}(\eta_{H0}, v_n)v_{кр} - S_0(\zeta_{K0}, \eta_{K0}, \zeta_{H0}, \eta_{H0})].$$

в которой условно принято, что при  $D_{обн} < 0$  судно-нарушитель обнаруживается и при  $D_{обн} > 0$  – не обнаруживается. После нахождения плотности вероятности дистанций обнаружения  $f(D_{обн})$  вероятность обнаружения судна-нарушителя  $P_1$  вычисляется по формуле

$$P_1 = \int_{D_{обн \max}}^0 f(D_{обн}) dD_{обн}. \quad (9)$$

10. Задача преследования и задержания судна-нарушителя. Предполагается, что в момент обнаружения СН и КБО «видят» друг друга и СН полным ходом по кратчайшему пути стремится выйти из охраняемой зоны. Тогда на основе решения (6) при  $(v_k - v_n) > 0$  время сближения

$$T_{\text{Сбл}} \approx \frac{S_0}{v_{\text{Кс}} - v_{\text{Н}}},$$

где  $v_{\text{Кс}}$  – скорость полного хода КБО. При  $(v_{\text{К}} - v_{\text{Н}}) < 0$  операция преследования не имеет смысла.

Вводя в рассмотрение время преследования  $T_z$ , вычисляемое по формуле

$$T_z = T_{\text{Сбл}} - T_{\text{мин}} = \left[ \frac{S_0}{v_{\text{Кс}} - v_{\text{Н}}} - \frac{B_{\text{ОЗ}} - \eta_{\text{НО}}}{v_{\text{Н}}} \right],$$

отметим, что если время преследования  $T_z < 0$  – судно-нарушитель задерживается и при  $T_z > 0$  – не задерживается. После отыскания плотности вероятности времени преследования  $f(T_z)$  вероятность задержания судна-нарушителя  $P_2$  вычисляется по формуле

$$P_2 = \int_{T_{z, \text{мин}}}^0 f(T_z) dT_z. \quad (10)$$

11. Определение функциональной надежности выполнения КБО охранных операций. Вероятность успешного выполнения операций по обнаружению и задержанию СН в результате преследования  $E$  отыскивается по формуле

$$E = P_1 P_2. \quad (11)$$

12. Метод решения задач функционирования КБО и результаты решения задач обнаружения и преследования СН. Описывается метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) и особенности его применения для построения плотностей вероятностей дистанций обнаружения  $f(D_{\text{обн}})$  и времени преследования  $f(T_z)$ , а также для вычисления вероятностей обнаружения и задержания судов-нарушителей  $P_1$  и  $P_2$ .

Результаты определения с помощью этого метода плотностей вероятностей дистанций обнаружения  $f(D_{\text{обн}})$  и времени преследования  $f(T_z)$  для охраняемой зоны и корабля береговой охраны, данные о которых приведены в нижеследующей таблице, представлены на рис. 2 и 3.

Данные, представленные на рис.3, получены в результате решения задачи преследования, в которой ограничение на продолжительность работы главных двигателей КБО не вводилось.

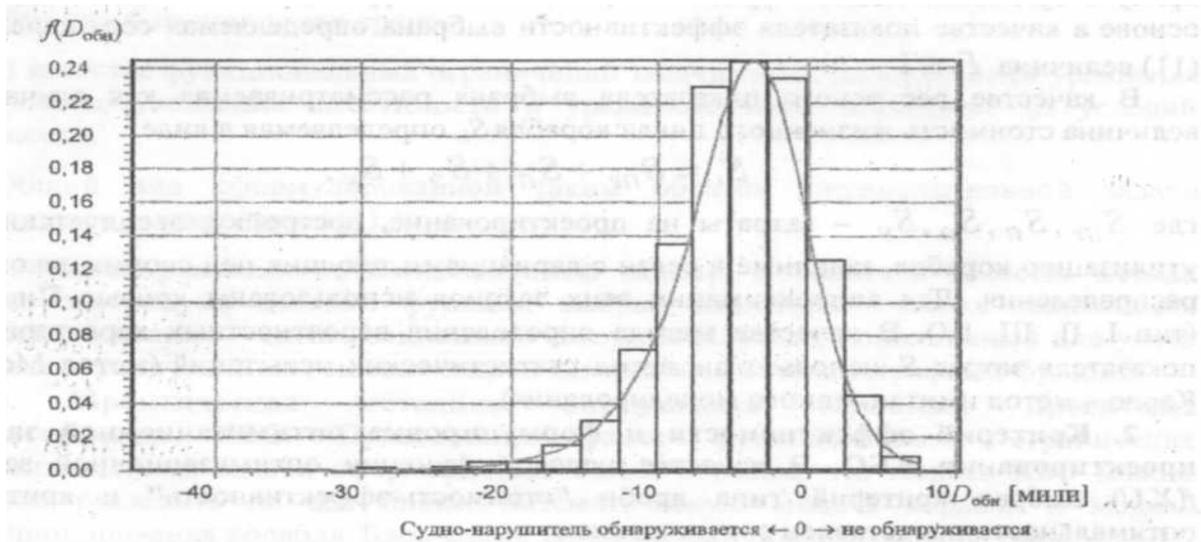


Рис.2. Плотность вероятности дистанций обнаружения и не обнаружения судна-нарушителя

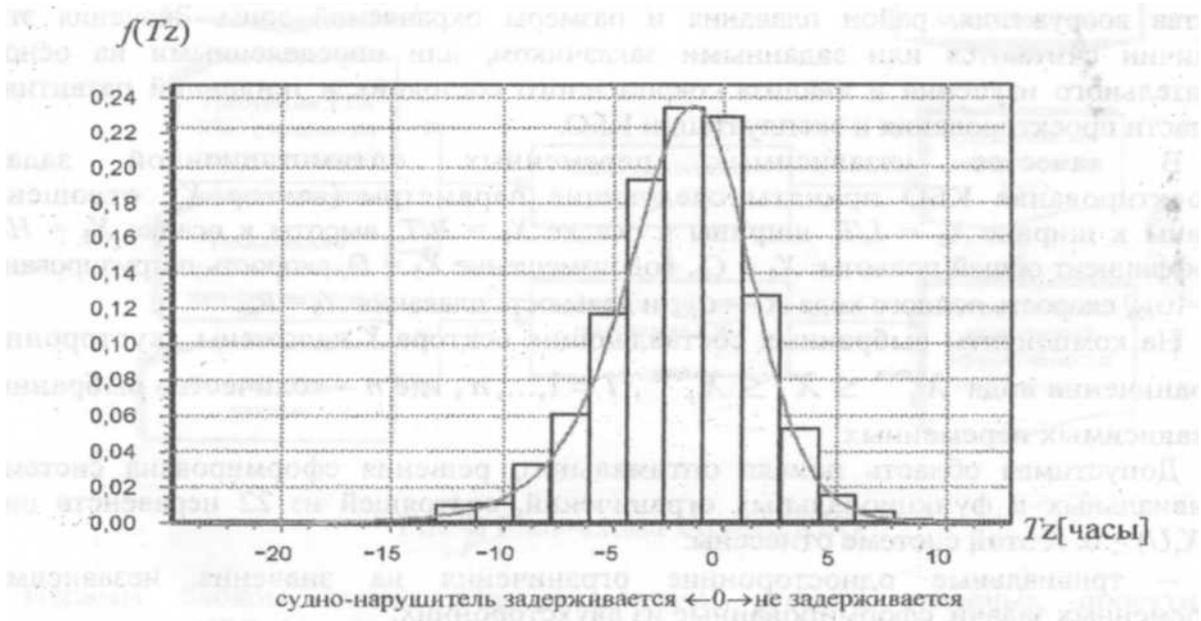


Рис.3. Плотность вероятности времени преследования судна-нарушителя

В четвертом разделе определен критерий эффективности КБО, сформулирована оптимизационная задача его проектирования, подобран метод ее решения, построена практическая методика выбора оптимальных характеристик КБО, приведены примеры определения оптимальных характеристик. В нем приводятся:

**1. Показатель эффективности и ресурсный показатель.** В соответствии с принципами военно-экономического анализа введены в рассмотрение присутствующие в задачах функционирования КБО функции полезности и на этой основе в качестве показателя эффективности выбрана определяемая соотношением (11) величина  $E \leq 1$

В качестве ресурсного показателя выбрана рассматриваемая как случайная величина стоимость жизненного цикла корабля

$S_i$ , определяемая в виде  $S_i = S_{pp} + S_{п} + S_{э} + S_{у}$ , где  $S_{pp}, S_{п}, S_{э}, S_{у}$  - затраты на проектирование, постройку, эксплуатацию и утилизацию корабля, заданные в связи с вариациями текущих цен своими законами распределения. Для аппроксимации этих законов использованы кривые Пирсона (тип I, II, III, IV). В качестве метода определения вероятностных характеристик показателя затрат  $S_i$  использован метод статистических испытаний (метод Монте-Карло - метод имитационного моделирования).

**2. Критерий эффективности и формулировка оптимизационной задачи проектирования КБО.** В качестве целевой функции оптимизационной задачи  $f(X, U)$  выбран критерий типа дроби "стоимость-эффективность" и критерий оптимальности представлен соотношением

$$f(X, U) = S/E \rightarrow \min,$$

где  $U$  - вектор параметров задачи проектирования;  $X$  - вектор независимых переменных.

В качестве параметров задачи проектирования КБО рассмотрены следующие параметры (вектор  $U$ ): тип КБО, тип главных двигателей, тип средств обнаружения, состав вооружения, район плавания и размеры охраняемой зоны. Значения этих величин считаются или заданными заказчиком, или определенными на основе тщательного изучения и анализа современного состояния и тенденций развития в области проектирования и эксплуатации КБО.

В качестве независимых переменных оптимизационной задачи проектирования КБО приняты следующие параметры (вектор  $X$ ): отношение длины к ширине  $X_1 = L/B$ , ширины к осадке  $X_2 = B/T$ , высоты к осадке  $X_3 = H/T$ , коэффициент общей полноты  $X_4 = C_b$ , водоизмещение  $X_5 = D$ , скорость патрулирования  $X_6 = v_{Кб}$ , скорость полного хода  $X_7 = v_{Кс}$  и дальность плавания  $X_8 = R_m$ .

На компоненты выбранных составляющих вектора  $X$  наложены двусторонние ограничения вида  $X_i^{\min} \leq X_i \leq X_i^{\max}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , где  $n$  - количество выбранных независимых переменных.

Допустимая область поиска оптимального решения сформирована системой тривиальных и функциональных ограничений, состоящей из 22 неравенств вида  $g_j(X, U) \geq 0$ . К этой системе отнесены:

- тривиальные односторонние ограничения на значения независимых переменных задачи, сформированные из двухсторонних:

$$X_i - X_i^{\min} \geq 0; X_i^{\max} - X_i \geq 0;$$

- функциональные ограничения, обусловленные соображениями эффективности и безопасности плавания корабля береговой охраны.

К последним отнесен показатель охранной эффективности  $E$ , метанентрическая высота, обеспечивающая плавность качки, параметры диаграммы статической остойчивости, формирующие в первом приближении необходимую остойчивость корабля при больших углах крена.

В качестве функциональных ограничений задачи также использованы уравнение плавучести, уравнение вместимости и уравнение масс, исходящее из условий прочности.

14

Общий вид сформулированной таким образом оптимизационной задачи представлен выражениями (1).

3. **Метод решения оптимизационной задачи.** В работе в качестве метода поиска экстремума целевой функции выбран известный метод нелинейного программирования - оптимизационный алгоритм Пауэлла, дополненный для учета влияния ограничений на решение задачи алгоритмом метода штрафных функций

4. **Практическая методика определения основных проектных характеристик КБО.** Приведенные ранее функциональные ограничения оптимизационной задачи сформированы таким образом, что модель КБО можно условно разделить на два блока: математическую модель корабля и модель функционирования корабля. Блок-схема такой модели представлена на рис.4.

С помощью этой модели выстроена совокупность алгоритмов решения оптимизационной задачи проектирования КБО. Блок-схема совокупности алгоритмов представлена на рис.5.

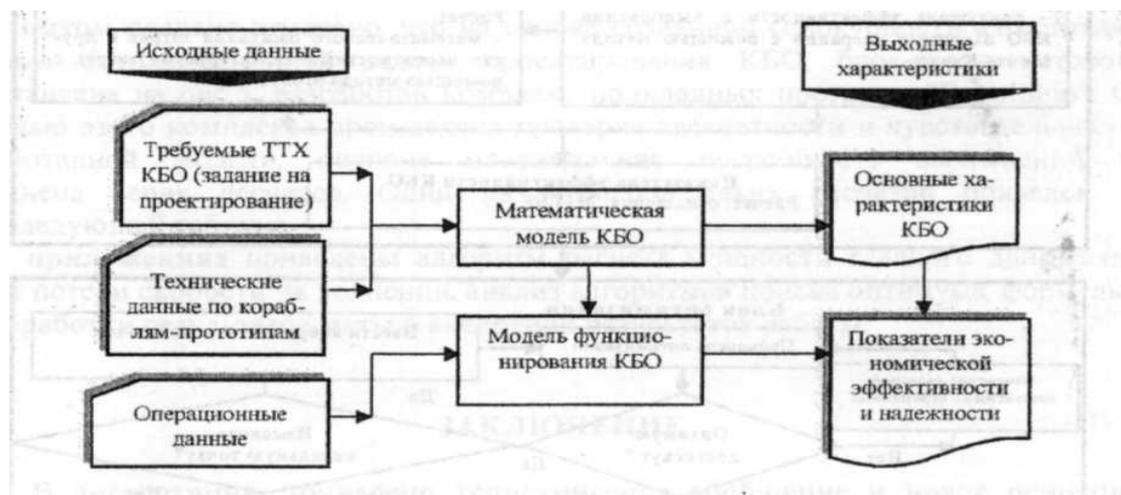


Рис.4. Блок-схема модели КБО

Первым блоком схемы решения задачи выбора основных проектных характеристик КБО (рис.5) является блок исходных данных корабля, в котором в соответствии с исходными данными (независимые переменные, заданные параметры проектирования и основные ограничения) задаются для выполнения расчета последовательного блока.

Вторым блоком является блок математической модели корабля и показателей эффективности, в котором решается система уравнений проектирования (плавучести, масс, ходкости, остойчивости, качки), вычисляются **главные** размеренна проекта и параметры формы корпуса и прочие характеристики проекта Расчет показателя эффективности  $E$  выполнения КБО охранных операций определяется с помощью метода Моне-Карло. Расчет математического ожидания затрат и других вероятностных характеристик затрат вычисляется также с помощью

метода Монте-Карло. На основе вышеуказанных расчетов рассчитывается отношение  $M[S]/E$ .

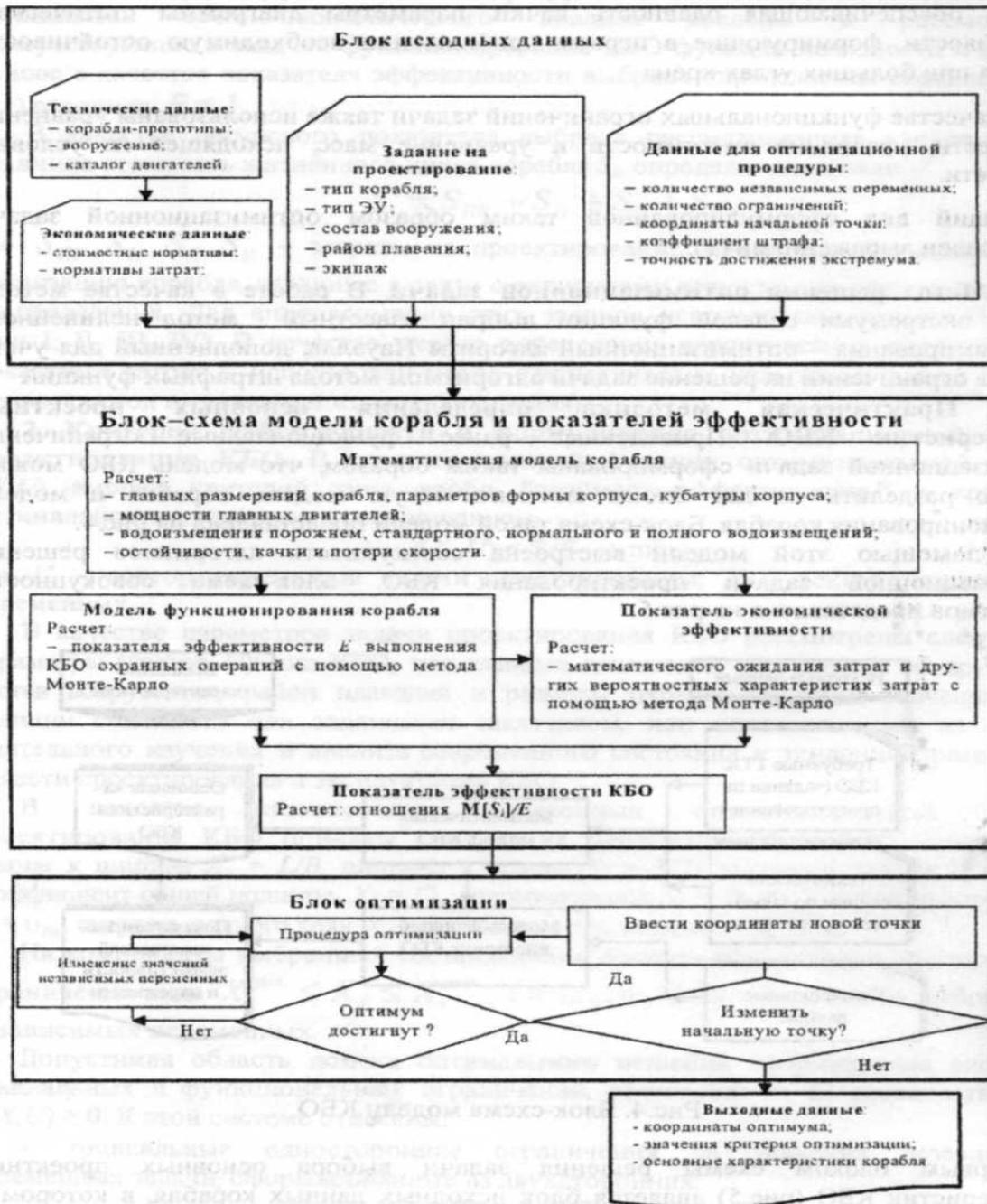


Рис.5. Блок-схема алгоритма определения основных проектных характеристик КБО

Третьим блоком является блок оптимизации

Основной набор случайных величин используется в качестве исходных данных задачи определения показателя эффективности по обнаружению и задержанию нарушителей, а также задачи определения стоимости КБО. Случайными величинами являются: длины и скорости судов-нарушителей, координаты их положения  $B$  охраняемой зоне, координаты позиции КБО в ОЗ, параметры волновых режимов ОЗ, стоимости составляющих весовой нагрузки КБО: металла корпуса, топлива, механизмов, систем, вооружения и т. д.

Таким образом, задача определения критерия эффективности КБО сведена к задаче преобразования законов распределения указанных случайных величин  $B$  закон распределения критерия эффективности.

В качестве других показателей эффективности может быть использовано среднеквадратичное отклонение отношения  $M[S_i]/E$  и вероятность события, состоящего в том, что это отношение окажется больше заданной величины.

В пятом разделе отмечено, что на основе созданной совокупности алгоритмов решения оптимизационной задачи проектирования КБО, блок-схема которой представлена на рис.5, разработан комплекс прикладных программ "PatrolShip". С помощью этого комплекса произведена проверка адекватности и чувствительности разработанной модели, оценена максимальная погрешность вычислений и выполнена серия расчетов. Один из примеров таких расчетов приведен в нижеследующей таблице.

В приложениях приведены алгоритм расчета мощности главного двигателя, расчет потери скорости на волнении, анализ алгоритмов поиска оптимума, формулы для обработки результатов, акты о внедрении результатов работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертации приведено теоретическое обобщение и новое решение научных задач функционирования и проектирования кораблей береговой охраны. При решении задачи функционирования вместо используемого в настоящее время аппарата теории цепей Маркова применен аппарат теории непрерывных марковских процессов, что позволило определить взаимодействие КБО с СН как во времени, так и в пространстве охраняемой зоны. Решение задачи проектирования КБО осуществлено с учетом влияния на показатель его эффективности вариаций цен на составляющие создания и эксплуатации КБО.

2. Состояние рассмотренной в диссертации проблемы характеризуется: насущной необходимостью Украины, Вьетнама и других стран в обеспечении надежной охраны их прибрежных экономических пространств, существенным влиянием случайного характера ветроволновых воздействий, средств обнаружения, вооружения и типа корабля на показатели эффективности кораблей береговой охраны, существующей, потребностью использования математических моделей которые могут адекватно отразить всю сложность и многообразие процесса эксплуатации КБО.

### 3. Главные научные и практические результаты работы:

- Впервые применен аппарат теории управляемости и мореходности корабля совместно с теорией непрерывных марковских случайных процессов для решения задачи определения показателей эффективности выполнения КБО основных охранных операций обнаружения и задержания судов-нарушителей, который дал возможность учесть такие особенности эксплуатации современных КБО, как случайное расположение КБО и СН в охраняемой зоне, случайный характер ветроволновых воздействий и характеристик судов-нарушителей и определить при этом влияние средств обнаружения, вооружения и типа корабля на исход выполнения охранных операций.

## Результат оптимизации основных проектных характеристик КБО

Таблица.

Наименование	Проект OPV1000	Оптимальный вариант с вертолетом	Оптимальный вариант без вертолета
Водоизмещение $D$ , т	1229	1128,51	1132,11
Длина $L$ , м	78	74,337	75,149
Ширина $B$ , м	10,30	10,245	10,270
Осадка $T$ , м	3,21	3,219	3,208
Коэффициент общей полноты $C_b$	0,464	0,449	0,446
Мощность гл. двигателя $N_e$ , кВт	29120	18874	18593
Скорость полного хода (патрулирование), уз	38(12)	31,85(14,83)	31,76(14,92)
Дальность плавания, миль	4350	5315	5360
Экипаж	60	60	56
Тип палубного вооружения и система управления оружием соответственно:			
Артиллерийская установка, мм	1x76 2x630	1x76 2x630	1x76 2x630
Вертолет	1ВППл	1 ВППл	-
Скорость вертолета, уз (автономность, часы)	-	125 (3)	-
Дальность обнаруж. КРЛС, миль	-	48	48
Длина охр-го участка $L_{Oy}$ , миль	-	125	125
Ширина охр-го участка $B_{Oy}$ , миль	-	100	100
Район плавания: Южно-китайское море	-		
Вероятность обнаружения нарушителя средствами КРЛС, $P_1$	-	0,872	0,861
Вероятность задержания нарушителя, $P_2$	-	0,709	0,511
Надежность охраны участка, $E = P_1 P_2$	-	0,618	0,440
Целевая функция $S/E$ , млн.\$.	-	134,953	167,053

- Составлена методика определения стоимости жизненного цикла КБО, использующая аппарат преобразования законов распределения исходных цен в закон распределения итоговой стоимости

- На основе решения задачи функционирования КБО и, методики определения его стоимости составлен критерий оценки "стоимость-эффективность" корабля, определяющий эффективность вложенных средств в выполнение основных охранных операций КБО.

- Реализован комплексный подход к определению оптимальных характеристик КБО, включающий совместное решение внешней и внутренней задач его проектирования, учет вышеизложенных факторов эффективности и стоимости за весь жизненный цикл в критерии эффективности, а также вариаций цен на эффективность корабля.

- Создана база данных по современным кораблям 1980-2002 лет постройки, на основе которой получены формулы для приближенного определения главных размерений кораблей береговой охраны, проанализированы характеристики и особенности их архитектурно-конструктивных типов;

**4. Достоверность теоретических и прикладных результатов, выводов диссертационной работы** обеспечивается корректной постановкой задачи, использованием для ее решения теории корабля, теории непрерывных марковских процессов, аппарата имитационного моделирования и нелинейного программирования, сравнением и близостью результатов, полученных автором по предложенной методике, с аналогичными данными по существующим техническим проектам перспективных КБО.

**5. Рекомендации относительно использования результатов работы.** Наиболее эффективной областью применения полученных научных результатов, разработанной модели функционирования и программного комплекса проектирования могут быть прогнозные и другие расчеты, которые производятся при выборе главных элементов КБО в исследовательско-проектных организациях и конструкторских бюро судостроительных заводов и для выполнения которых в особенности необходим учет фактора случайности и неопределенности будущих условий эксплуатации КБО.

**6. Рекомендации относительно дальнейшего развития проблемы.**

Дальнейшее развитие рассмотренной в диссертации задачи, по мнению диссертанта, целесообразно проводить в двух направлениях. Первое направление и цель дальнейшей работы соискателя - это оптимизация характеристик корабля не как отдельного сооружения, а как функциональной единой системы "корабль — вооружение - средства обеспечения", которая даст возможность учесть и оптимизировать не только характеристики корабля, но и узкие места в процессе функционирования корабля. Второе направление - использование при формулировке и решении задач проектирования КБО современных

достижений науки и компьютерных технологий в области экспертных систем и искусственного интеллекта.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Дам Суан Туан*. Мореходные качества кораблей береговой охраны и их основные тактико-технические характеристики // Збірник наукових праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2002. №2 (380).- С.47-59.

2. *Дам Суан Туан*. Определение показателей надежности корабля береговой охраны при взаимодействии с судном-нарушителем // Збірник наукових праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2003. - № 1 (387). - С. 49-60.

3. *Дам Суан Туан*. Определение экономических характеристик кораблей береговой охраны // Збірник наукових праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2003. -№ 2 (388).-С. 24-36.

4. *Dam Xuan Tuan*. The new Deep-Vee hulls improved propulsion qualities and seakeeping for high-speed ships // The Transport Journal, 2002. - №8 - P.35-36.

*Дам Суан Туан*. Выбор основных проектных характеристик кораблей береговой охраны. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - Механика и конструирование судов - Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2003.

Целью диссертационной работы является совершенствование процесса проектирования патрульных кораблей для обеспечения надежной береговой охраны

Приведены результаты анализа состояния кораблей береговой охраны и перспектив их развития, особенностей архитектурно-конструктивных типов современных патрульных кораблей и основных способов повышения их ходкости и мореходности. Создана база данных по современным кораблям 1980-2002 лет постройки, на основе которой получены формулы для приближенного определения главных размерений кораблей береговой охраны.

Применен аппарат теории управляемости и мореходности корабля совместно с теорией непрерывных марковских случайных процессов для решения задачи определения показателей эффективности выполнения КБО основных охранных операций обнаружения и задержания судов-нарушителей, который дал возможность учесть особенности эксплуатации современных КБО и определить при этом влияние средств обнаружения, вооружения и типа корабля на исход выполнения кораблем охранных операций.

Произведена оценка влияния на получаемое оптимальное решение размеров охраняемой зоны, ветро-волновых режимов акватории,

характеристик судов-нарушителей и средств их обнаружения и задержания.

Составлена методика определения стоимости жизненного цикла КБО, использующая аппарат преобразования законов распределения исходных цен в закон распределения итоговой стоимости

На основе решения задачи функционирования КБО и методики определения его стоимости составлен критерий оценки "стоимость-эффективность" корабля, определяющий эффективность вложенных средств в выполнение основных охранных операций КБО.

Реализован комплексный подход к определению оптимальных характеристик КБО, включающий совместное решение внешней и внутренней задач его проектирования, учет влияния факторов функциональной надежности и стоимости жизненного цикла корабля на значение критерия эффективности, а также учет влияния вариаций цен на эффективность.

Ключевые слова: Корабль береговой охраны, функционирование, основные проектные характеристики, целевая функция, показатель эффективности, критерий эффективности, непрерывный многомерный марковский случайный процесс, жизненный цикл, метод оптимизации, ветро-волновое воздействие.

*Дам Суан Туан, Вибір основних проектних характеристик кораблів берегової охорони. - Рукопис.*

Дисертація на змагання ученого ступеня кандидат технічних наук за фахом 05.08.03 - Механіка та конструювання суден - Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2003.

Метою дисертаційної роботи є удосконалення процесу проектування патрульних кораблів для забезпечення надійної берегової охорони

Створено базу даних по сучасних кораблях 1980-2002 років будівлі, на основі якої отримані формули для наближеного визначення головних розмірів кораблів берегової охорони.

Застосовано апарат теорії керованості і мореплавності корабля разом з теорією марковських випадкових процесів для рішення задачі визначення показників ефективності виконання КБО основних охоронних операцій виявлення і затримки суден-порушників, що дав можливість врахувати особливості експлуатації сучасних КБО і визначити при цьому вплив засобів виявлення, озброєння і типу корабля на результат виконання кораблем охоронних операцій

Реалізовано комплексний підхід до визначення оптимальних характеристик КБО, що включає спільне рішення зовнішньої і внутрішньої задач його проектування, облік впливу факторів функціональної надійності і вартості життєвого циклу корабля на значення критерію ефективності, а також облік впливу варіацій цін на ефективність.

Ключові слова: Функціонування, корабель берегової охорони, основні проектні характеристики, цільова функція, показник ефективності, критерій ефективності, марковський випадковий процес, метод оптимізації, життєвий цикл, вітро-хвильовий вплив.

*Dam Xuan Tuan.* A choice of the basic design characteristics of the ships of a coast guard. - the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences, on a specialty 05.08.03 - Mechanics and designing of ships - the Ukrainian state sea technical university of a name of admiral Makarov, Nikolaev, 2003.

The purpose of dissertational work is perfection of process of designing of the patrol ships for maintenance of a reliable coast guard.

The database on the modern ships of 1980-2002 years of building is created. On this base the formulas for the approached definition of main dimensions of the ships of a coast guard are received.

Together with the theory of continuous marcovian random processes the apparatus of the theory of manoeuvrability and seakeeping of the ship is applied for the decision of a problem of CGS efficiency parameters definition for performance its basic operations of detection and detention of ships - infringers which has enabled to take into account features of modern CGS operation and to determine thus influence of means of detection, arms and type of the ship on an outcome performance by the ship of security operations.

The complex approach to definition of the CGS optimum characteristics, including the joint decision of external and internal problems of its designing, the account of influence of factors of functional reliability and cost for all life cycle on value of criterion of efficiency, and also the account of influence of variations of the prices for efficiency of the ship is realized.

Key words: the ship of a coast guard, functioning, the basic design characteristics, criterion function, parameter of efficiency, criterion of efficiency, marcovian random process, life cycle, method of optimization, wind-wave influence.

Видавництво УДМТУ, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Підписано до друку з оригінал-макету 12.08.03 Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 0,7. Обл.-вид. арк. 0,8. Тираж 100 экз. Зам.  
№ 326. Ціна договірна.

Видавництво УДМТУ. 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5.