

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

Георги Михайлов Щерев

**ПЛАНИРАНЕ ПРЕХОДА НА КОРАБА
В ОСОБЕНИ РАЙОНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „доктор”

по докторска програма: 5.5.4. „Управление на кораба и корабоводене” към професионално направление: 5.5. Транспорт, корабоплаване и авиация

Научен ръководител:

Доц. д-р инж. Анастас Стефанов Крушев

Рецензенти:

- проф. д-р инж. Юри Дачев
- доц. д-р инж. Чавдар Орманов

Варна, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден в Разширен катедрен съвет,
сформиран със заповед на Ректора №2018 г.

Автор: Георги Михайлов Щерев

Заглавие: **ПЛАНИРАНЕ НА ПРЕХОДА НА КОРАБА
В ОСОБЕНИ РАЙОНИ.**

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

Георги Михайлов Щерев

**ПЛАНИРАНЕ ПРЕХОДА НА КОРАБА
В ОСОБЕНИ РАЙОНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „доктор”

Варна, 2018

Дисертационният труд съдържа 149 страници, включително 34 фигури, 16 таблици и 8 приложения оформени в 3 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 145 заглавия, от които 94 на кирилица и 51 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 23.10.2018 г. от ч. в на открито заседание на жури сформирано със заповед на ректора No/.....г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се във ФД "Докторанти", стая 318 НУК

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на темата. Плаването в каналите и фарватерите, както и маневрирането за влизане в пристанищата и в тях, са едни от най-сложните условия в които се оказва корабът в процеса на експлоатацията му поради влиянието, което оказва плитководието на инертността и повъртливостта на кораба, т.е. увеличаване на ъгъла на дрейфа и ъгловата скорост на поворота и съответно увеличаване на радиуса на циркулацията му.

Проблемът (първи) е, че при планирането на мястото на точката (way points) за начало на циркулацията за промяна на курса на кораба традиционните методи не отчитат влиянието на плитководието на маневрените качества на кораба.

Това е най-честата причина за относително високата аварийност на корабоплаването по време на прехода на кораба в такива райони защото при тези условия на плаване корабоводителите се доверяват преди всичко на опита и интуицията си, отколкото на информацията в „Таблицата за маневрените характеристики на кораба” на мостика (Резолюция на ИМО А.601(15)).

Вторият **Проблем**, свързан с планирането на прехода в стеснени води е, че няма информация за маневрените характеристики на кораба при различни ъгли на отклонение на кормилото, при различни съотношения между газенето на кораба и дълбочината на акваторията в района на маневрирането и при различна скорост на движение на кораба. за плитководие се използват разчетни характеристики за циркулация и спирачен път само за дълбочина на водата и газене на кораба в съотношение $H/d = 1,2$.

Проблем (трети – човешкият фактор). При липса на достатъчно информация за маневрените качества на кораба прогнозата за маневрата обикновено се основава на практическия опит на корабоводителя, осъществяващ управлението или даващ команда за изпълнение на управляващо въздействие. В такъв случай не е изключена грешка, вероятността за която съществено нараства, ако условията в които се изпълнява маневрата не съответстват в определен смисъл на практическия опит на корабоводителя.

Липсата на достатъчна информация за маневрените характеристики на кораба в условия, различни от показаните в „Таблицата ...” е причина с резолюция MSC.1 37(76) от 2002 г. и циркуляционно писмо MSC/Circ.1053 от същата година ИМО да допусне изпъл-

зването на математически модели за получаване на маневрените характеристики на кораба чрез математическото моделиране и компютърно проиграване на управляемостта (включително движение на циркулация) Това определя в голяма степен целта на дисертационния труд, която се свежда до следното:

Цел на дисертационната работа е изследване на факторите, влияещи на управляемостта на кораба при плаване в особени райони (плитководие и теснини) и разработване на методика и алгоритъм за планиране навигационното осигуряване на прехода с отчитане на тяхното влияние за безопасността на кораба

Задачи на изследването. За постигане на поставената цел в дисертацията трябва да се решат следните задачи:

1. Изследване динамиката на кораба в процеса на циркулация в плитки води и теснини на базата на идентифицирани математически модели на одобрен навигационен симулатор за да се разкрие влиянието на плитководието на маневрените характеристики на кораба.

2. Разработване на методика за експериментално-статистическо изследване на взаимовръзката между кинематичните параметри на движението на кораба при циркулация в стеснени води.

3. Разработване на методика и алгоритъм за планиране на навигационното осигуряване на прехода на кораба в особени райони с отчитане влиянието на плитководието на управляемостта на кораба.

Област на изследването. Безопасността на корабоплаването при плаване в особени райони (теснини, канали, плитководие).

Обект на изследване. Средно и голямотонажни морски кораби за насипни товари (бълкери), осъществяващи плаване в стеснени води.

Предмет на изследването е оценка и анализ на влиянието на факторите, влияещи на циркулацията на кораба при планирането на прехода в особени райони.

Методи на изследване. За решаване на поставените задачи са използвани методите на математическото моделиране на динамиката на движението на кораба в режим на циркулация на одобрен навигационен симулатор, теория на статистическия анализ с използване на програмния пакет MathCad и стандартен пакет Ексел.

Научна новост на изследването

Разработена е методика за провеждане на експерименти за моделиране на циркулацията на кораби в стеснени води и плитководие на навигационен симулатор и е извършен трифакторен статистически анализ на резултатите от моделирането на движението на кораба в особени райони. Разработени са регресионните зависимости на елементите на циркулацията от параметрите на управлението на циркулацията.

Предложена е методика за определяне мястото на точката за начало на маневрата (поворотата) за циркулация на кораба и технология за оценка на позиционирането на кораба при изменение на курса му при плаване в стеснени и плитки води. Разработени са методика и алгоритъм за планирането на навигационното осигуряване на прехода на кораба в особени райони.

Практическа ценност на изследването

Резултатите от изследването могат да се използват от корабоводителите при планирането на прехода на корабите в особени райони за осигуряване на точността на маневрите при излизане на нов курс, което повишава безопасността на корабоплаването в стеснени води.

Разработените методики за планиране на поворотите могат да се използват при обучението на студентите от специалност „Корабоводене” в ТУ-Варна и ВВМУ „Н. Вапцаров”.

Методиката е проверена на практика при планиране на преходите на моторни кораби „Сакар”, „Миджур” и „Вола 1” от състава на параходство БМФ-АД в Азовско море и през Керч-канал на които дисертантът е плавал като капитан в периода 2005-2016 г.

Апробация на изследването

Основните резултати от изследванията са докладвани и публикувани, както следва:

Международна научна конференция Ст. Загора 2011 г.

Международна научна конференция Ст. Загора, 2013 г.

Международна научна конференция „Устойчиво развитие 2018”, ТУ-Варна, 2018.

Работата е одобрявана периодично и като цяло на заседания на катедра „КУТОЧВП” при ФМНЕ на ТУ-Варна.

Съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд е разработен в три глави.

В първа глава „Постановка на проблема и връзката му с научните и практическите задачи” е извършен литературен обзор в който са разгледани въпросите, свързани с планирането на рейса на кораба. Извършен е анализ на съществуващите нормативни документи по планирането на рейса на кораба с отчитане на последните изисквания на Резолуциите на ИМО, като е обърнато специално внимание на планирането на прехода в особени райони.

Проблемът (първи) е, че при планирането на мястото на точката (way points) за начало на циркулацията за промяна на курса на кораба традиционните методи не отчитат влиянието на плитководието на маневрените качества на кораба.

Подробно са разгледани въпросите за маневрените характеристики на кораба и влиянието на плитководието на управляемостта и кинематиката на криволинейното движение на кораба, които имат пряко значение за планирането на прехода на кораба в теснини и канали.

Проблемът (втори), свързан с планирането на прехода в стеснени води е, че няма информация за маневрените характеристики на кораба при различни ъгли на отклонение на кормилото, при различни съотношения между газенето на кораба и дълбочината на акваторията в района на маневрирането и при различна скорост на движение на кораба.

За плитководие в „Таблицата ...” се привежда разчетна циркулация само за отношение $H/d = 1,2$, където H – отчитана от повърхността дълбочина на водата, а d – газене на кораба.

Проблем (трети – човешкият фактор). При липса на достатъчно информация за маневрените качества на кораба прогнозата за маневрата обикновено се основава на практическия опит на корабоводителя, осъществяващ управлението или даващ команда за изпълнение на управляващо въздействие. В дадения случай не е изключена грешка, вероятността за която съществено нараства, ако условията в които се изпълнява маневрата не съответстват в определен смисъл на практическия опит на корабоводителя.

Затова с резолюция А.601 (15) на ИМО се допуска част от информацията за маневрените характеристики на кораба в „Таблицата....” за различни условия на плаване и натоварване на кораба да бъде получена с използване на различни разчетни методи като се използват математически модели на динамиката на движението на кораба. След техния анализ се стига до извода, че решението на

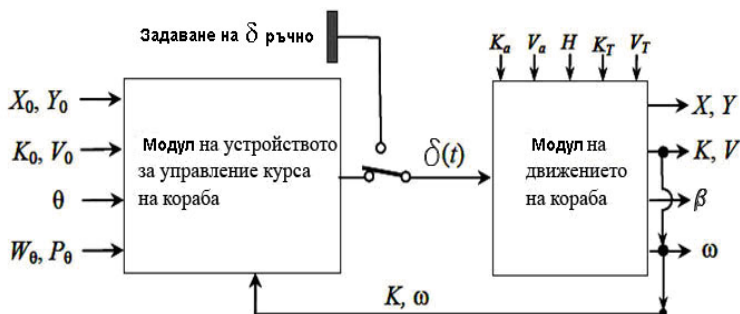
задачата може да се сведе до разработване на идентифицирани математически модели на конкретни кораби на базата на имитационни математически модели. Блок-схема на имитационен модел за прогнозиране движението на кораба при изменение на курса е показана на фиг.1.1 и включва два модула:

- модул на устройство за управление на курса на кораба;
- модул на движението на кораба.

Входни данни на модела са: X_0, Y_0 – начални координати на кораба; K_0, V_0 – начални курс и скорост на кораба относно грунта; θ – ъгъл на изменение на курса; W_θ, P_θ – способ на изменение на курса и параметрите му; K_a, V_a – направление и скорост на вятъра; K_T, V_T – направление и скорост на течението; H – дълбочина отчитана от повърхността на водата.

На изхода на модела са представени: X, Y – текущи координати на кораба; K, V – курс и скорост на кораба относно грунта; β – ъгъл на дрейфа; ω – ъглова скорост.

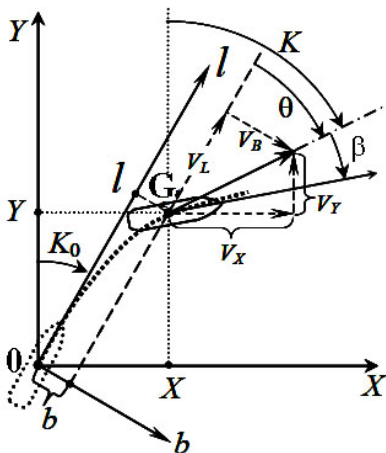
Параметрите на хоризонталното движение на кораба е представен на фиг.1.2.



Фиг. 1.1. Модел на схемата за управление на курса на кораба

Векторът, определящ движението на кораба е представен с няколко параметъра (V_L, V_B, ω, Ω).

В модела се отчитат следните въздействия върху корпуса на кораба: инерционните сила и момент $P_{и}, M_{и}$ центробежната сила $P_{ц}$; позиционната хидродинамична сила и нейния момент P_K, M_K ; демпфиращия момент на хидродинамичните сили M_d ; упорът на винта, страничната сила на винта и нейния момент P_L, P_B, M_B ; си-



Фиг. 1.2. Параметри на движението на кораба

лата на кормилото и нейния момент P_p, M_p ; аеродинамичната сила и нейния момент P_a, M_a ; силата на действие на вълните и нейния момент P_w, M_w . Упорът на винта P_L съответства на зададената скорост на движение.

Изменението на състоянието на кораба се представя със система от взаимосвързани нелинейни диференциални уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_L}{dt} &= \frac{1}{m_L} (P_{IL} + P_{KL} + P_L + P_{PL} + P_{aL} + P_{wL}); \\ \frac{dV_B}{dt} &= \frac{1}{m_B} (P_{IB} + P_{KB} + P_B + P_{PB} + P_{aB} + P_{wB}); \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J_\omega} (M_K + M_D + M_B + M_P + M_a + M_w); \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{1}{T_\Omega} (k_\Omega \nabla \hat{\delta} - \Omega) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

където m_L, m_B, J_ω - съответно сумите от масата на кораба и инерционния момент на „присъединените части“ от ускорението при движението на кораба; T_Ω, k_Ω - постоянна на времето и предавателен коефициент на кормилното устройство; $\nabla \hat{\delta}$ - приведена разлика между задавания δ_u и текущия δ на положението на кормилото; L, B - индекси съответно на съставляващите на силите $P_{IL}, P_{KL}, P, P_p, P_a, P_w$ върху надлъжната и бордовата ос на кораба.

По елементите на вектора за състоянието се изчисляват: ъгълът на отклоняване на кормилото, курсът, пътевият ъгъл, пътевата скорост, координатите на кораба и другите параметри на дви-

жение. Положението на кормилото и курса се определят по формули:

$$\delta = \delta_0 + \int \Omega dt, \quad K = K_0 + \int \omega dt \quad (1.2)$$

където δ_0, K_0 - начални значения.

Съставляващите скоростта на кораба по меридиана и паралела се разчитат по формули:

$$\left. \begin{aligned} V_Y &= V_L \cos K - V_B \sin K; \\ V_X &= V_L \sin K + V_B \cos K. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Пътевата скорост и пътевият ъгъл на кораба се определят по формули

$$V = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2}, \quad \text{ПУ} = \arctg \frac{V_X}{V_Y} \quad (1.4)$$

Координатите на кораба в правоъгълна, ориентирана по меридиана система XOY се намират по формули

$$x = x_0 + \int V_X dt; \quad (1.5)$$

$$y = y_0 + \int V_Y dt.$$

където X_0, Y_0 - начални значения на координатите на кораба.

Отчитане на плитководието в математическите модели на движението на кораба

Основен отличителен елемент на всеки от съществуващите математически модели е способът за определяне на коефициентите на диференциалните уравнения, отразяващи действието на хидродинамичните сили, отразяващи влиянието на плитководието върху корпуса на кораба.

Уравненията на движението на кораба, описващи изменението на характеристиките на движението във времето с отчитане на присъединените маси на водата, са следните:

$$R_x = (m + \lambda_{11}) \frac{dV}{dt} - (m + \lambda_{11}) \frac{d\beta}{dt} V \beta + (m + \lambda_{22}) V \beta \omega_z - \lambda_{26} \omega_z^2 \quad (1.6)$$

$$R_y = -(m + \lambda_{22}) \frac{d\beta}{dt} V + \lambda_{26} \frac{d\omega_z}{dt} + (m + \lambda_{11}) V \omega_z \quad (1.7)$$

$$M_z = (I_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega_z}{dt} - \lambda_{26} \frac{d\beta}{dt} V - (\lambda_{22} - \lambda_{11}) V^2 \beta - \lambda_{26} V \omega_z \quad (1.8)$$

където m – маса на кораба; R_x – надлъжна хидродинамична сила на корпуса (съпротивление на водата); R_y – напречна хидродинамична сила корпуса; M_z – общ момент на силите, приложени към корпуса при криволинейното движение; V – скорост на кораба; ω_z – ъглова скорост на кораба относно оста Z ; β – ъгъл на дрейфа; J_z – инерционен момент на кораба относно оста Z ; λ_{11} – присъединена маса на водата по оси X ; λ_{22} – присъединена маса на водата по оси Y ; λ_{26} – статически момент на присъединените маси вода; λ_{66} – момент на инерцията на присъединените маси вода.

Изводи по първата глава:

1. Разгледани са теоретико-практическите методи на планирането на рейса на кораба с отчитане на последните изисквания на Резолуциите на ИМО, като е обърнато специално внимание на особеностите на прехода в стеснени води и плитководие (особени райони). Установено е, че планирането на рейса касае организацията на корабната служба и е съставна част от задълженията на ходовата вахта за осигуряване на безопасността на корабоплаването, опазването на човешкия живот и морската среда.

2. Формализирани са понятията стеснени води и плитководие. Установено е, че понятието „стеснени води” е относително и неговото влияние върху поведението на кораба зависи не само от дълбочината на морето и широчината на каналите и фарватерите, но и от геометричните размери на кораба, неговата скорост и хидрометеорологичните условия на плаването.

3. Установено е, че съществуващите нормативни документи на ИМО за оценка на маневрените характеристики на морските кораби се основават на изпитанията им при типово натоварване или в баласт и при плаване в дълбоки води и като такива нямат необходимата достоверност за да се използват при планирането на прехода на кораба в особени райони, плаването в които се характеризира с изменение на кинематичните му характеристики и маневрени елементи, което може да стане предпоставка за аварийни ситуации.

4. Липсват сведения за количествен и качествен анализ на влиянието на факторите от експлоатационен характер върху надеждностните характеристики на маневрените елементи на сухотоварните кораби от типа „бълкери”, посочени в „Таблицата за маневрените характеристики на кораба” и затова корабоводителите се

доверяват повече на личния си опит, отколкото на информацията в „Таблицата ...”.

5. Установено е, че използваните аналитични методи за оценка на маневрените характеристики на корабите не удовлетворяват изискванията за безопасността на корабоплаването в стеснени води и съществено се различават от получените при натурните изпитания.

6. Установено е, че маневрените характеристики на кораба за състояния, различни от указаните в „Таблица” могат да се получат чрез математическо моделиране и компютърно проиграване на подходящи навигационни симулатори с използване на идентифицирани математически модели на конкретен тип кораби.

7. Разгледана е класическата структура на математически модел на кораб и са анализирани съществуващите подходи за математическо моделиране на движението на кораба. Установено е, че проблемът на повечето математически модели е в подхода за отчитане на влиянието на плитководието, и най-вече в голямото количество параметри, които се определят на основата на натурни експерименти с физически модели.

8. Установено е, че при планирането на прехода на кораба в стеснени условия най-трудно е определянето началото на маневрата за смяна на курса при определен ъгъл на отклонение на кормилото и скорост на движение на кораба за излизане на новия курс веднага след завършване на циркулацията. Установено е, че традиционните способности обикновено не отговарят по точност за да отразяват на изискванията на корабоводенето в стеснени води.

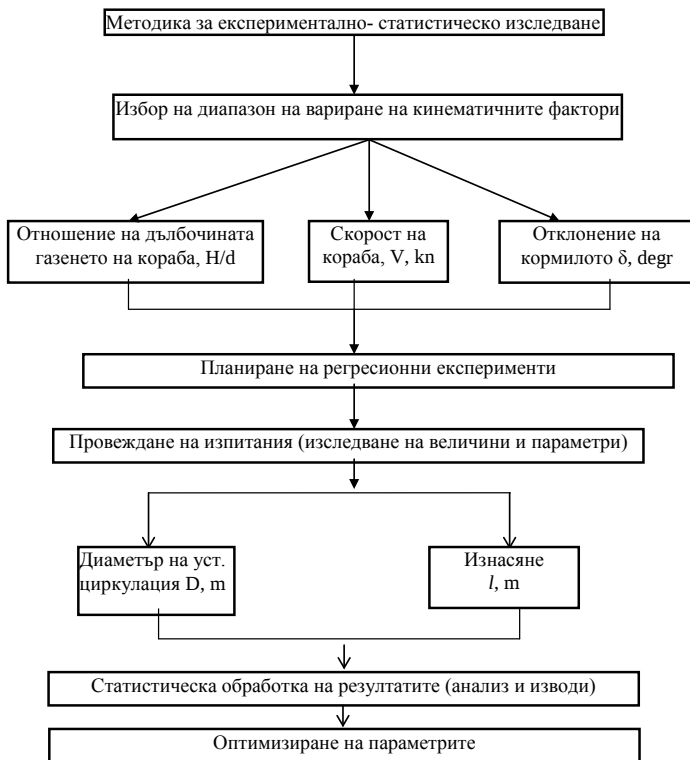
9. Установено е, че към момента на настоящата разработка не са разработени методика и алгоритъм за оптимално планиране на прехода на кораба в особените условия на плаване в плитководие и теснини с отчитане на влиянието на плитководието на маневрените характеристики на кораба, свързани с реалните нужди на практиката.

Във втора глава **„Методика и алгоритъм за изследване траекторията на движението на кораба при плаване в особени условия (стеснени води) е разработена методика за експериментално-статистическо изследване на взаимовръзката между кинематичните параметри на движението на кораба в стеснени води и плитководие и е извършен статистически анализ на резултатите от моделирането на движението на кораба на циркулация.**

Изследването на динамиката на движението на кораба в режим на циркулация е извършено на базата на математическите модели на одобрения от класификационната организация DNW и ИА"МА" навигационен симулатор на ТУ-Варна. За уточняване на маневрените характеристики при плаване в стеснени води и плитководие се използва идентифициран математически модел на м/к „Сакар” и още два кораба от типа „бълкери”.

Структурата на математическите модели на изследваните кораби е показана на фиг.2.7 в дисертацията.

Движението на кораба може да се моделира със и без въздействието на външни сили. Външните сили, това са въздействието на вятъра, течението, вълнението, геометрията на канала (действие на плитководието, ефектът на брега на канала, наклонът на дъното и др. Структурата на външните сили е показана на фиг. 2.8 в дисер-



Фиг. 2.1

тацията.

Разработената в тази част на дисертацията **Методиката за експериментално-статистическо изследване на взаимовръзката между кинематичните параметрите на движението на кораба в стеснени води** има за цел чрез използване на методите на статистическия анализ да се получат регресивните уравнения, определящи зависимостта на маневрените характеристики на криволинейното движение на среднотонажните кораби тип „балкерииери” при плаване в стеснени условия при определен ъгъл на отклонение на кормилото и скорост на кораба. Разчетите на тези показатели и другите процедури на представения статистически анализ на резултатите от моделирането на движението на кораба на циркулация са изпълнени с използване на програмата MathCAD.

Блок-схемата за формулиране и решаване на оптимизационната задача е показана на фиг. 2.1.

Изследването на поведението на кораба при движението му на циркулация и съответно диаметърът на описвания при тази маневра кръг $D_{уст}$ и изнасянето на кораба l зависят от много променливи величини. Най-важните от тях са: входните фактори (независими променливи), които се изменят и контролират по време на експеримента, а останалите се приемат за постоянни или въобще не се контролират.

За входни величини са избрани кинематичните параметри на процеса: отношението на дълбочината на морето в района на експеримента към газенето на кораба H/d ; ъгълът на отклонение на кормилото δ , скоростта на кораба V .

За всеки фактор е зададена долна и горна граница на изменение (факторно пространство):

$$Z_{i,min} \leq Z_i \leq Z_{i,max} \quad (2.1)$$

Факторите се изменят в границите от (-1) до $(+1)$. Всеки фактор се изменя на не по-малко от три нива. Резултатите от опитите се пресмятат по избраните оценки на коефициентите на модела и се съставя регресионното уравнение:

$$\begin{aligned} FF(X_1, X_2, X_3) := & B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_1X_2 + B_5X_1X_3 + \\ & + B_6X_2X_3 + B_7X_1^2 + B_8X_2^2 + B_9X_3^2 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Важен критерий за оптималност на планове е броят на опитите в тях. Един от най-икономичните по броя на опитите пла-

нове са предложени от Хартли - Рехтшафнер. Факторите и интервалите на варирането им е показан в табл.2.1

Таблица 2.1

ФАКТОРИ		Интервали на вариране		
		Долно ниво	средно ниво	Горно ниво
		-1	0	+1
Z_1	Отношение H/d	1,25	3,55	5,75
Z_2	Отклонение на кормилото	10^0	25^0	35^0
Z_3	Скоростна кораба, kn	6,3	9,95	13,6

Исходни величини. За разглеждания случай на изследване на криволинейното движение на кораба такива характеристики се явяват диаметърът на циркулацията $D_{уст}$ (D_T) и изнасянето l_1 .

Условия и методика на моделиране на движението на кораба на циркулация. При моделирането са използвани математическите модели на три кораба, основните характеристики на които са представени в таблица 2.2. Движението се осъществява при отсъствие на външни смущаващи фактори (вятър, вълнение, течение).

Таблица 2.2

Тип на кораба	Δ , t	Дължина, m	Широчина, m	Газене, m		
				нос	средно	кърма
Бълкер	27000	168,4	27,3	8,8	8,8	8,8
Бълкер	33000	186,4	30,0	10,5	11,8	13,1
Бълкер	55000	193,5	32,3	12,3	12,3	12,3

Процесът на провеждане на експеримента се отразява на коннинг-дисплея на симулатора от където се снимат и резултатите (табл.2.3, м/к №1, прототип на м/к „Сакар”). Таблица 2.3

Диаметър $D_{уст}$ на циркулация за кораб № 1 ($\Delta = 27000$ t)

H/d	Диаметър $D_{уст}$ при $\delta = \dots$ и $V=6,3$ kn					
	$\delta = 35^0$	$\delta = 30^0$	$\delta = 25^0$	$\delta = 20^0$	$\delta = 15^0$	$\delta = 10^0$
5,70	459	487	519	551	577	605
4,92	469	499	529	563	589	617
3,55	481	513	545	59	605	635
2,55	501	533	565	601	629	659
1,73	573	611	649	689	721	757
1.25	739	787	835	887	929	975

Процедурата на статистическия анализ се извършва с цялата база получени данни, част от които са представени с примера от табл. 2.3, като се извършва трифакторен експеримент с използване на резултатите от моделирането на движението на изследваните три кораба при движението им на циркулация.

Изследването на влиянието на кинематичните параметри върху елементите на циркулацията се определя чрез съставяне на регресионни уравнения със значенията на значимите и натуралните коефициенти. Като се заместят стойностите им в уравнение (2.2) се получава уравнението на регресия във вида:

За кораб 1:

а) със значенията на значимите коефициенти

$$Y(X_1, X_2, X_3) = 657.801833 - 256.495617 * X_1 - 79.672398 * X_2 + 38.500000 * X_1 * X_3 + 58.750000 * X_2 * X_3 + 79.614890 * X_1 * X_1 + 33.111164 * X_2 * X_2 ;$$

б) с натуралните коефициенти

$$\text{Rust}(H/d, a, V) = 2219.213189 - 270.728196 * H/d - 40.538233 * a - 56.647641 * V + 4.687976 * H/d * V + 1.609589 * a * V + 15.726398 * H/d * H/d + 0.331112 * a * a$$

По същия начин се процедира и за останалите кораби в експеримента.

Адекватността на математичния модел се проверява по критерия на Фишер (F – критерий) чрез сравняване на изчислената F с табличната му стойност $F_{гр}$:

$$\left. \begin{array}{l} \text{кораб №1} \quad F = 2,643 \\ \text{кораб №2} \quad F = 5,323 \\ \text{кораб №3} \quad F = 1,808 \end{array} \right\} < F(\text{границно}) = 6.09 \quad (2.4)$$

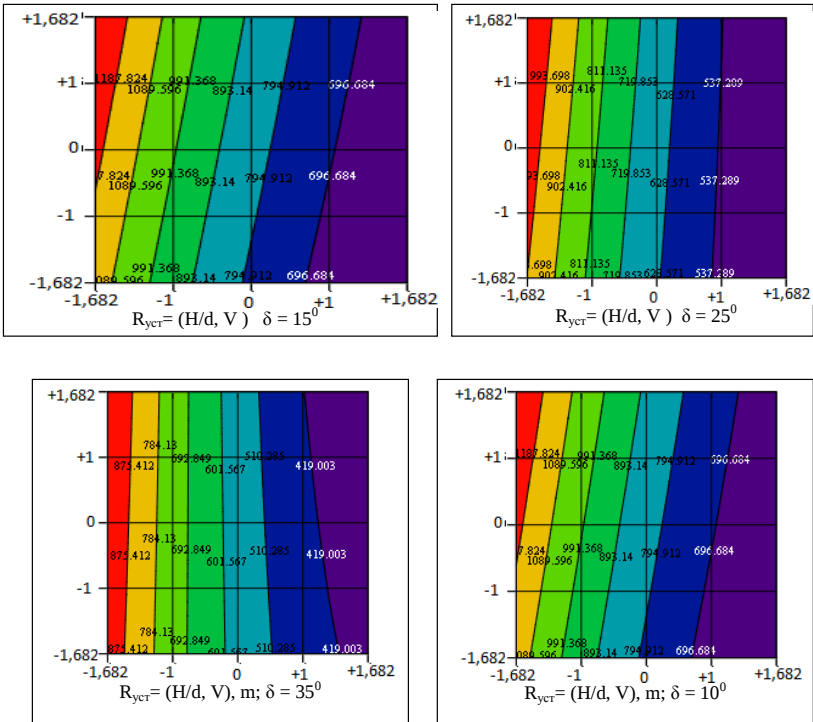
По направените изчисления и критерия на Фишер е видно, че моделите са адекватни.

Чрез компютърната програма MathCAD, за оптимизиране параметрите на модела се търси оптималният радиус на циркулация във факторното пространство (табл. 2.4), ограничено от звездните точки на кодираните променливи с граници $(-1,682; +1,682)$.

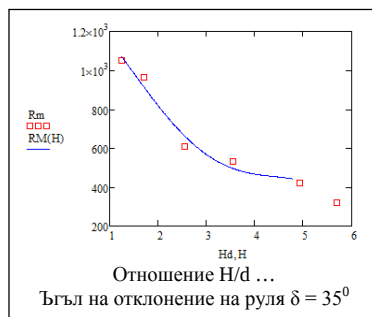
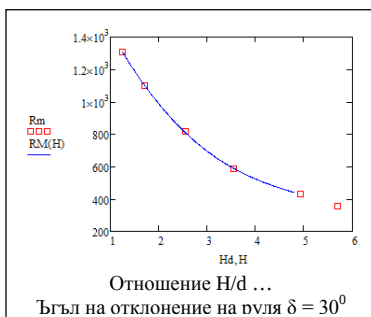
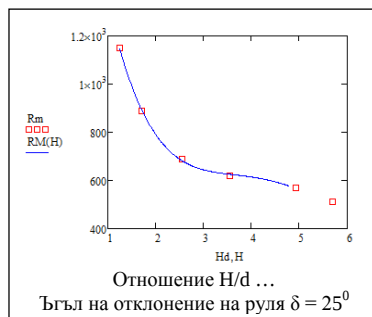
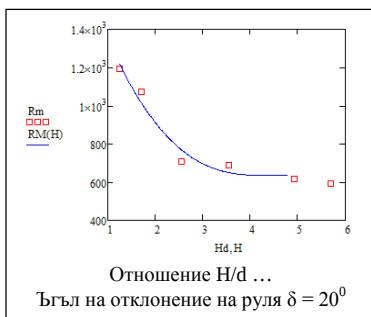
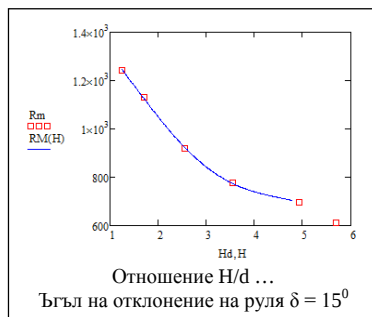
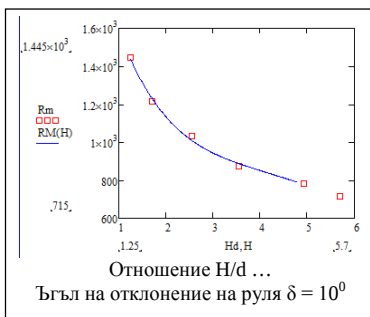
Таблица 2.4

Параметри на модела	Кораб 1	Кораб 2	Кораб 3
D _{уст} , m	559,7	659,5	797,3
H/d	5,66	5,57	5,41
δ^0 , degr	13,79	10	8
V, kn	7,94	6,14	6,42

Обработката на статистическите данни с програмния продукт “MathCAD 7” позволява построяването на изолиниите за трите модела на корабите. Графическият анализ на регресионния модел показва, че $R_{уст}^{k1,k2,k3}$ са в областта на оптимума (фиг.2.2). На всяка от фигурите $R_{уст}$ е функция на два фактора при постоянна (оптимална) стойност на третия фактор (нулевите координати на новата координатна система) и са представени в метри.



Фиг. 2.2



Фиг.2.3

На фиг. 2.3 с използване на програмата от “MathCAD 14.0” са построени графиките на зависимостите на радиуса на циркуляция-

та $R_{уст}$ от отношението H/d при различни отклонения на кормилото и скорост на кораба. От графиките ясно се вижда, че с намаляването на това отношение радиусът на циркулацията се увеличава.

Анализът на резултатите от графическата интерпретация на експериментите, представени на фиг. 2.3 са основание, че зависимостите между $R_{уст}$, $L_{уст}$ и H/d може да се представят със степенното уравнение от вида

$$R = b(H/D)^C \quad (2.5)$$

където b – константа на регресията, c – коефициент на регресия

Статистическият регресионен анализ на това уравнение е изпълнен с използване на стандартния пакет Excel. Обобщените резултати на посочените по-горе зависимости са представени в табл. 2.5.

Това, че коефициентът на корелация превишава 0,99 свидетелства че между $R_{уст}$ и H/d има функционална зависимост. Адекватността на уравнението на регресия потвърждава критерия на Фишер, получен по-горе с използване на програмата "MathCAD 7" по модела на Рехтшафнер.

Таблица 2.5

Ъгъл на отклонение на руля, (δ)	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
Конст. на регресия, b	1211	1087,2	989,50	926,03	892,9	850,45
Коеф. на регресия, c	-0,4216	-0,5115	-0,5547	-0,6328	-0,6997	-0,7591
Коеф. на корелация, r	-0,9925	-0,9908	-0,9917	-0,989	-0,9895	-0,9933
Коеф. на детерминация, R^2	0,9852	0,9817	0,9766	0,9781	0,9792	0,9866

Изводи по втора глава

1) Разработени са и са използвани за изследване на елементите на движение при циркулация в стеснени води на три идентифицирани математически модела на водоизместващи моторни кораби, управлявани от едно обикновено кормило и гребен винт с постоянна стъпка.

2) Разработена е методика за провеждане на моделиран експеримент на одобрен навигационен симулатор на движението на циркулация на три различни кораба, в т.ч. на идентифицирания математически модел на м/к „Сакар”.

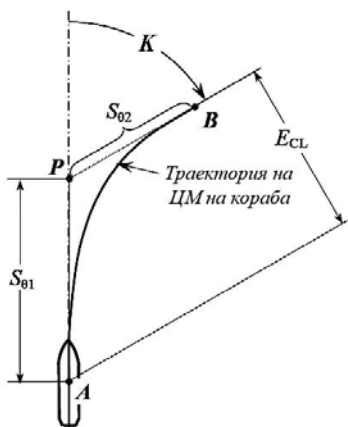
3) На навигационен симулатор е извършено моделирано движение на циркулация на три различни кораба (бълкери) от типа на м/к „Сакар” при изменение на отношението на дълбочината към газенето на кораба от 1,25 до 5,7. Установено е, че влиянието на плитководието на елементите на циркулацията започва да се проявява при стойности на отношението на дълбочината към газенето на кораба 5,2 и по-малки.

4) Разработена е методика за експериментално-статистическо изследване на взаимовръзката между кинематичните параметрите на движението в режим на циркулация на корабите в стеснени води.

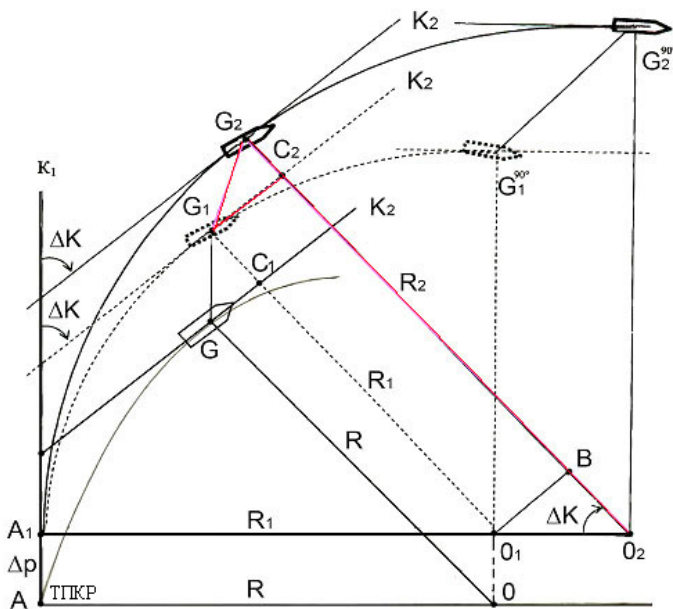
5) Извършен е статистически анализ на резултатите от моделирането на движението на кораба на циркулация. Установено е, че коефициентът на корелация между елементите на циркулация и отношението на дълбочината към газене е повече от 99%, което показва, че между тях има функционална зависимост и позволява да се изчислят междинните циркулации за всякакви ъгли на отклонение на кормилото.

6. Извършено е сравнение на резултатите от моделирането с натурните изпитания за определяне на елементите на циркулацията на м/к „Сакар”. Установено е, че натурните данни достатъчно точно потвърждават резултатите от моделирането и статистическият им анализ

В **трета глава** са разгледани въпросите за навигационното планиране на прехода на кораба при плаване в плитки води и теснини. Разработена е методика за планиране на навигационното осигуряване и безопасността на прехода на кораба в особени райони и алгоритъм на задачите, решавани непосредствено в процеса на плаването на кораба в тези условия



21 Фиг.3.1. Елементи на поворота



ФИГ.3.2

$$E_{CL} = S_{\theta 1} \cdot \sin K \quad (3.1)$$

На представената фигура (3.2) елементите на циркулацията

Напречното изместване (изнасяне) на ЦМ на кораба от ЛПП

$$G_1 C_1 = G_1 G \sin \Delta K = \Delta n \sin \Delta K \quad (3.2)$$

$$G_1 C_1 = G_1 G \cdot \sin \Delta K = \Delta p \cdot \sin \Delta K \quad (3.2)$$

Надлъжното изместване се определя по формулата

$$GC_1 = GG_1 \cdot \cos \Delta K = \Delta p \cos \Delta K \quad (3.3)$$

За да се отчете и влиянието на плитководието, характеризиращо се с увеличаване на радиуса на циркулация, може да се приеме следната схема за оценка (фиг. 3.2, индекси 2)

R, R_1, R_2 – съответно радиус на циркулация в ТПКР, радиус на циркулация в точката на начало на започване на циркулацията с отчитане на поправката за „мъртвия участък“, радиус на циркулация с отчитане на влиянието на плитководието. Тогава:

$$O_2O_1 = R_2 - R_1 = R_2 - R \quad (3.4)$$

$$G_1C_2 = O_1B = (R_2 - R) \sin \Delta K \quad (3.5)$$

$$G_2C_2 = (R_2 - R)(1 - \cos \Delta K) \quad (3.6)$$

$$G_1G_2 = \sqrt{(G_1C_2)^2 + (G_2C_2)^2} = \\ = (R_2 - R) \sqrt{(1 - \cos \Delta K)^2 + \sin^2 \Delta K} \quad (3.7)$$

Грешката в планирането на WP и прогнозираната позиция на кораба след поворота, както е видно от фиг. 3.2 е равна на сумата от съвместното действие на съставляващите на напречното (ΔT), надлъжното (ΔN) и линейното (ΔL) изместване на новата траектория на движение на кораба от планирания път на прехода в дадения район:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \Delta T_1 + \Delta T_2 = G_1C_1 + G_2C_2; \\ \Delta N &= \Delta N_1 + \Delta N_2 = GC_1 + G_1C_2; \\ \Delta L &= \Delta L_1 + \Delta L_2 = G_1G + G_1G_2. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Планиране и изпълнение на поворотите. При планирането на прехода в стеснени води и/или плитководие, в предварителната прокладка особено важно е да се определи мястото на точката за начало на поворота.

Тъй като ЛПП е определена от условията на плаването, то при разчета на поворота се решава, по правило, обратната задача: намиране на точката за подаване на команда на кормилото (ТПКК) и точката за края на поворота (ТКП) по такъв начин, че корабът, започвайки поворота от първата част на ЛПП₁, да излезе към момента на завършване на поворота на следващата ЛПП₂ (фиг.3.3, б). Тази задача може да бъде решена по два способа – с постоянен

Планирането на поворота се извършва като от диаграмата на циркулацията (фиг. 3.3 или от таблица 2.4 в Дисертацията) се вземат значенията на изнасянето l_1 и напречното преместване l_2 .

Figure 1 consists of two schematic diagrams, (a) and (b), illustrating a ship's movement on a grid.

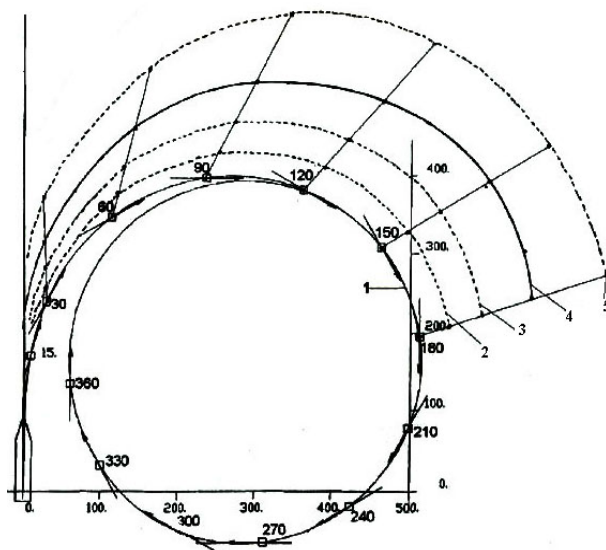
Diagram (a) shows a ship's path starting from a point labeled "ТПКК" (likely a port or a specific location). The path is marked with points K_1 , K_2 , K_{90} , and K_{180} . The distance from the starting point to K_1 is labeled h . The distance from K_1 to K_2 is labeled k . The path is shown as a series of connected line segments, with a curved line indicating a turn. The grid is a square grid.

Diagram (b) shows a ship's path starting from a point labeled "a". The path is marked with points b and c . The distance from a to b is labeled h . The distance from b to c is labeled k . The path is shown as a series of connected line segments, with a curved line indicating a turn. The grid is a square grid. The angles between the segments are labeled 60° , 150° , and $150^\circ - 08'$.

24

Разчет и построяване на междинните циркуляции

За успешното извършване на поворота и осигуряването на безопасността при плаването в стеснени води е желателно на кораба да има диаграми на циркулацията на кораба при различни различни режими и условия на експлоатацията му. На фиг. 3.3 е построена диаграма на циркулациите въз основата на сметите диаметри на циркулация (табл.2.4 и др.) на идентифицирания математически модел на м/к „Сакар”, както и резултатите от маневрените изпитания на същия кораб, проведени на 16 юни 1995 г. в района на нос Галата при дълбочини на морето 25-30 m, вятър с посока 50° и скорост 6-8 m/s, море 2-3 бала и видимост 10 мили .



Фиг.3.3. Диаграми на циркулацията на идентифицирания математически модел на м/к „Сакар”:

1, 4 –циркулации, измерени при 30° и 15° при натурните изпитания на кораба; при отклоняване на кормилото в положение 30° ; 2, 3, 5 – диаметри на циркулациите моделирани на симулатора за манев-

За практическа проверка на изчислените диаметри на циркулация на 01.05.2015 г. в Азовско море са проведени маневрени изпитания на кораба на плитководие. Данни за кораба: LOA – 169

m, В-25 m, $d_n = 8,00$ m, $d_k = 8,00$ m, на равен кил; място на експеримента – $\varphi = 45^\circ 42,1' N$ $\lambda = 036^\circ 36,3' E$; дълбочини в района – 10,0 – 11,0 m; вятър – NE, 2-3 m/s; море – 0-1 бала; видимост – 12 мили. Извършени циркулации при две различни положения на кораба – на 15° и на 30° , и на двата борда. Изпитанията са извършени по обсервация със спътникова навигационна система GPS.

Анализът на получените резултати показва, че са налице минимални разлики в стойностите на тактическия диаметър $D_T = 0,19$ кбт (35,29 м) и на изместването $l_1 = 0,11$ кбт (20,19 м) с тези от изчислените диаметри на циркулация на математическия модел на кораба, които са напълно допустими в нормалната търговска експлоатация на кораба.

При плаването в теснини и канали, както и при циркулация е особено важно за безопасността на прехода да се определи **безопасната полоса на движение**. При движението на кораба на циркулация траекториите на неговите крайни точки съществено се отличават от траекторията на ЦМ, особено на корабите с голяма дължина. Това обстоятелство трябва да се отчита при планирането на прехода в стеснени води:

$$D_{H,K} = D_{Ц} \pm L \sin \beta_G \quad (3.9)$$

където – $D_{H,K}$ – съответно диаметър на траекторията на крайните точки на носа и кърмата на кораба.

Методика за планиране на навигационното осигуряване на прехода на кораба в особени райони (фиг.3.4)

Структурата и съдържанието на задачите и тяхното решаване може да се извърши по следната методика (по групи А, Б):

Група А. **Предварителна подготовка за прехода**. Организационно-технически процедури. Включва:

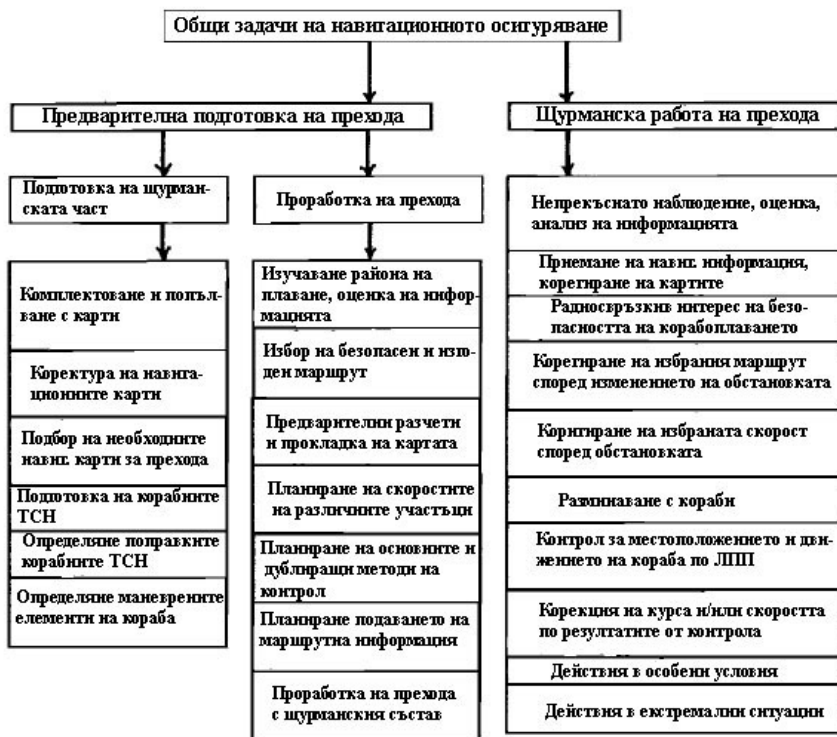
А.1. **Избиране на маршрута и разчет на прехода**. Включва:

А 1.1. Техникоексплоатационни данни за кораба към момента на подхождане към съответния район;

А 1.2. Избор на маршрута на плаване (формализация на районите и условията на плаване в тях);

А 1.3. Предварителен разчет на прехода (пресмятане разстоянието на прехода, предварителен разчет на продължителността на прехода);

А 1.4. Уточняване на правовия режим по маршрута на прехода.



Фиг.3.4

А 2. Проработка на прехода

А 2.1. Планиране подхождането към бреговата ивица след прехода по море;

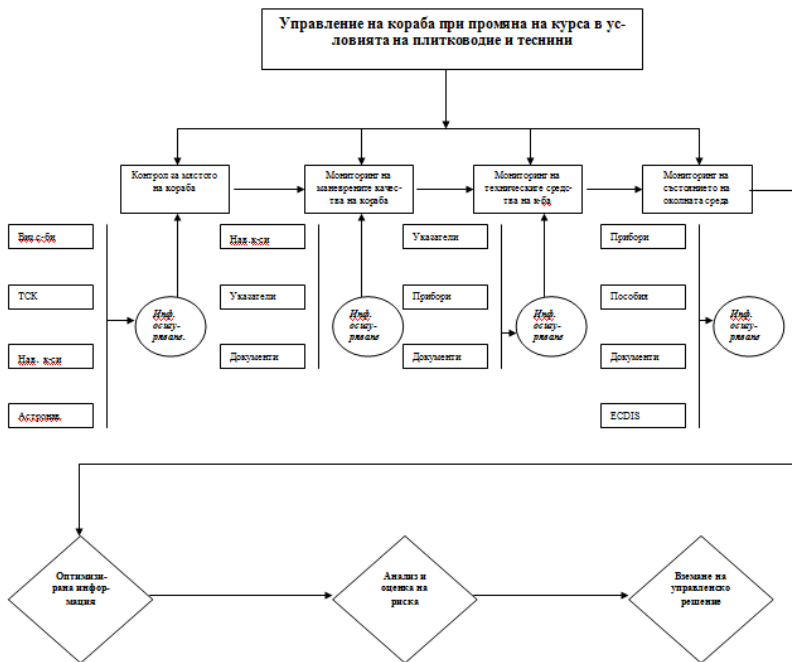
А 2.2. Планиране на крайбрежният преход на кораба;

А 2.3. Планиране прехода на кораба в стеснени райони:

- планиране на скоростта по време на прехода;
- планиране на система от методи, за непрекъснат контрол върху местоположението и движението на кораба;
- избор на ограждащите изобати.

Група Б. **Осигуряването на навигационната безопасност при прехода в особени райони (щурманска работа):** 1) щателно предварително планиране с извършване на необходимите разчети; 2) по-често определяне на мястото на кораба; 3) повишена точност за числението на пътя на кораба; 4) надежден контрол за достоверно опознаване на ориентирите; 5) непрекъснат контрол за дви-

жението на кораба; 6) отчитане на ветровия дрейф и сноса от течението с максимална точност.



Фиг. 3.5. Примерен алгоритъм на управлението на кораба при плаване в стеснени води

Примерният алгоритъм на управлението на кораба в условията на плаване в стеснени води е представен на фиг. 3.5.

Изводи от трета глава

1. Обоснована е зависимостта на оценката за позиционирането на кораба при излизането му на нов курс от влиянието на плитководието на напречното и надлъжното изместване на елементите на циркулацията на кораба.

2. Предложена е методика и практически е апробиран способ „обратна засечка” за определяне местоположението на точката за начало на циркулацията за преминаване на нов курс по маршрута на прехода на кораба в условията на плитководие, теснини и канали с използване на данните за маневрените характеристики на

идентифицираните математически модели на кораба, проиграни на навигационен симулатор в съответните условия на плаване.

3. Обоснована е и е предложена методика за построяване и използване на междинните циркулации на кораба, получени при математическото моделиране на маневрите на кораба с циркулация при различни отклонения на кормилото извършени на навигационен симулатор.

4. Систематизирани са изискванията за планиране на прехода в особени райони и са разработени методологични указания за организацията на работата по предварителната прокладка на маршрута на прехода.

5. Предложена е методика за планиране прехода на кораба в особени райони (стеснени води).

6. Предложен е алгоритъм за управление на кораба при прехода му в условията на плитководие и теснини.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на основните резултати от изследванията в настоящия дисертационен труд могат да се определят следните изводи и научни резултати:

Изводи:

1. В резултат на анализа на регламентиращите документи относно планирането на рейса (Резолюция на ИМО А.893(21) от 1999 г.) е установено, че при планирането на прехода в особени райони трябва да се отчитат факторите, влияещи на маневрените качества на кораба.

2. Установено е, че изискваните от ИМО нормативни документи за маневрените характеристики на морските кораби нямат достатъчна информация за да се използват при планирането на прехода на кораба в особени райони. Затова в дисертацията е разработена и предложена методика за построяване и използване на междинните циркулации на кораба, получени при математическото моделиране на маневрите на кораба с циркулация при различни отклонения на кормилото проиграни на навигационен симулатор.

3. Извършен е анализ на математическите модели на управляемостта на кораба на плитководие. Установено е, че допълнителна информация за маневрените характеристики на кораба могат да се получат чрез математическо моделиране и компютърно проиграване на подходящи навигационни симулатори с използване на идентифицирани математически модели на конкретен тип кораби.

Целта на дисертацията е постигната: изследвани са факторите, влияещи на управляемостта на кораба при плаване в особени райони (плитководие и теснини) и е разработена методика и алгоритъм за планиране навигационното осигуряване на прехода с отчитане на тяхното влияние за безопасността на кораба

Научно-приложни приноси:

1. Разработен е идентифициран математически модел на водоизместващ моторен кораб (бълкер), управляван от едно обикновено кормило и гребен винт с постоянна стъпка, който е използван за изследване на елементите на движението му при циркулация в стеснени води на одобрен навигационен симулатор;

2. Разработена е методика за съставяне на регресионни уравнения със значенията на значимите и натуралните коефициенти за определяне на елементите на циркулацията на водоизместващ моторен кораб, управляван от едно обикновено кормило и гребен винт с постоянна стъпка кораба във функция на дълбочината, ъгъла на отклонение на кормилото и скоростта на кораба.

3. Определени са параметрите на факторите влияещи на управляемостта на водоизместващите моторни кораби от типа „бълкери“, при плаване в особени условия (плитки води);

Приложни приноси:

1. Предложена е методика и практически е апробиран способ на „обратна засечка“ за определяне местоположението на точката за начало на циркулацията за преминаване на нов курс по пътя на прехода на кораба в условията на плитководие, теснини и канали с използване на данните за маневрените характеристики на идентифицирания математически модел на кораба, проиграни на одобрен навигационен симулатор в съответните условия на плаване;

2. Предложена е технология за построяване на междинните циркулации на моторен кораб, управляван от едно обикновено кормило и гребен винт с постоянна стъпка с използване на резултатите от моделирането на движението на кораба на циркулация на одобрен навигационен симулатор в допълнение към „Таблица за маневрените характеристики на кораба“ (ИМО, А.601 (15) (Wheelhouse Poster));

3. Предложена е методика за планиране на поворотите на кораба при плаване в теснини и плитковини с използване на построените циркулационни характеристики на идентифицираните математически модели, получени при моделиран експеримент на одобрен навигационен симулатор при движението на циркулация в допълнение към „Таблица за маневрените характеристики на кораба“;

4. Разработена е методика и алгоритъм за планирането на навигационното осигуряване на прехода на кораба в особени райони и е предложен алгоритъм за управлението на кораба при прехода му в условията на плитководие и теснини.

Практическа ценност на изследването

Резултатите от изследването могат да се използват от корабоводителите при планирането на прехода на корабите в особени райони за осигуряване на точността на маневрите при излизане на нов курс, което повишава безопасността на корабоплаването в стеснени води.

Разработените методики за планиране на поворотите могат да се използват при обучението на студентите от специалност „Корабоводене” в ТУ-Варна и ВВМУ „Н. Вапцаров”.

Методиката е проверена на практика при планиране на преходите на моторни кораби „Сакар”, „Миджур” и „Вола 1” от състава на параходство БМФ-АД в Азовско море и през Керч-канал на които дисертантът е плавал като капитан в периода 2005-2016 г.

Апробация на изследването

Основните резултати от изследванията са докладвани и публикувани, както следва:

Международна научна конференция Ст. Загора 2011 г.

Международна научна конференция Ст. Загора, 2013 г.

Международна научна конференция „Устойчиво развитие 2018”, ТУ-Варна, 2018.

Работата е одобрявана периодично и като цяло на заседания на катедра „КУТОЧВП” при ФМНЕ на ТУ-Варна.

Публикации по дисертационния труд

1) Щерев Г. Анализ на потенциалните аварийни ситуации при планиране рейса на кораба. XX-та юбилейна международна научна конференция 3 - 4 юни 2011 г., Съюз на учените, Стара Загора, секция ”Морски науки и екология”;

2) Щерев Г., Щерев М. Организация, средства и методи за осигуряване на навигационната безопасност при плаване в особени райони. XXI-та международна конференция юни 2014 г., Съюз на учените, Стара Загора, секция ”Морски науки и екология”.

3) Щерев М., Станев А., Събев Б., Щерев Г. Тренажорната подготовка по корабоводене – обучение по новому в ТУ-Варна, Трети международен научен конгрес, 50 години Технически Университет – Варна, 2013.

4) Идеен на „Тренажор по безопасност на корабоплаването и управление маневрите на кораба”, НП-16/2011, ТУ-Варна, 2011.

5) Изследване на управлението на маневрите на кораба в екстремални условия, НП-15/2013, ТУ-Варна, 2013.

ДЕКЛАРАЦИЯ
ЗА ОРИГИНАЛНОСТ И ДОСТОВЕРНОСТ
от

инж. Георги Михайлов Щерев

Във връзка с провеждането на процедура за защита на дисертация за придобиване на образователна и научна степен „доктор”, декларирам следното:

Дисертацията ми на тема: „ПЛАНИРАНЕ ПРЕХОДА НА КОРАБА В ОСОБЕНИ РАЙОНИ“ е оригинален авторски труд.

20.04.2018 г.

Декларатор:
/инж. Г. Щерев/

SUMMARY

of a dissertation for awarding educational and scientific degree "doctor"

Topic: Planning passage of the ship into special areas

By Capt. Georgi Mihaylov Shterev

Voyage planning in special areas aims enhancing navigational safety in shipping on the basis of effective navigational providing, taking in consideration the influence of the shallow waters and the maneuvering characteristics of the vessel. In order to achieve these goals, the dynamical characteristics of the ship in the process of circulating in shallow waters and narrow channels has been developed, based on an identified mathematical models and has been carried out on an approved navigational simulator. Additionally a methodology for experimental statistical study of interrelation between the cinematic parameters of the movement of the ship in narrow channels circulation has been developed as well as a methodology and algorithm for planning the navigational provisions of the ship's passage in special areas, taking into account the influence of the shallow waters onto the maneuverability of the ship.

РЕЗЮМЕ

диссертации для присуждения образовательной и научной
ученой степени «доктор»,

Тема: Планирование перехода судна в особых районах

Автор: к.д.п. инж. Георгий Михайлов Штерев

Планирование перехода судна в особых районах направлено на повышение безопасности судоходства на основе эффективной навигации, обеспечивающей с учетом влияния мелководья маневренные характеристики корабля. Для достижения поставленной цели в диссертации исследуется динамика судна в процессе циркуляции в неглубоких водах и ущельях на основе идентифицированных математических моделей, апробированных на навигационный тренажер. Разработана методика для экспериментально-статистического исследования взаимосвязи между кинематическими параметрами движения судна при циркуляции в стесненных водах и разработана методика и алгоритм для планирования навигационного обеспечения перехода судна в особых районах с учетом влияния плитководия на управляемость судна.